

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informatiky

---

**Měření šíření rádiového signálu v pásmu 5GHz**

**Measurement dissemination radio signal in the  
5GHz band**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informatiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Sergii Goncharuk**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma: **Měření šíření rádiového signálu v pásmu 5 GHz**  
**Measurement Dissemination Radio Signal in the 5 GHz Band**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zjistit podmínky šíření digitálního signálu v pásmu 5 GHz v závislosti na různých typech překážek. V rámci bakalářské práce zpracujte:

1. Teoretický rozbor problému.
2. Navrhněte druhy překážek nejčastěji se vyskytujících z pohledu hustoty materiálu.
3. Navrhněte experimentální pracoviště pro praktická měření.
4. Proveďte orientační měření šíření signálu v závislosti na typu překážky.
5. Měření vyhodnoťte a zpracujte zadání pro realizaci měření v reálných podmínkách.
6. Implementujte aplikaci pro podporu měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Wieser V., Doboš L., Dúha J., Marchevský S.: Mobilné rádiové siete, EDIS ŽU, Žilina 2002, ISBN 80-7100-936-9
- [2] Wieser V., Pšenák V.: Riadenie výkonu v mobilných rádiových sieťach, EDIS ŽU, Žilina 2010, ISBN 978-80-554-0206-2
- D8le podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Artem Ganiyev**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka  
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne 7 května 2013



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří mi jakoukoliv mírou pomohli při tvorbě této bakalářské práce, především pak vedoucímu této práce Ing. Artemu Ganiyevu, a taky Ing. Michalovi Krumníkovi za ochotnou pomoc při řešení problémů.

## **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá teoretickým rozbořem dělení rádiových vln na pásma a jejich využití, popsání Wi-Fi standardu IEEE 802.11a, který slouží pro posílání radiového signálu v pásmu 5GHz, a přenosu dat v lokální bezdrátové síti.

Praktická část bakalářské práce se zaměřuje na výběr přijímače a vysílače pracujících na frekvenci 5 GHz, na návrh různých druhů překážek, které se často vyskytují, na odzkoušení a implementace skriptů pro testování měření. Odzkoušením je myšleno orientační měření šíření digitálního signálu v pásmu 5 GHz, v závislosti na různých typech překážek.

## **Klíčová slova:**

5GHz, překážky, měření šíření, IEEE 802.11a

## **Abstract:**

This thesis deals with the theoretical analysis of the division of radio waves on the band and their use, describe Wi-Fi IEEE 802.11a standard, which is used for sending radio signals in the 5GHz band, and data transmission in wireless local area network.

The practical part of the thesis focuses on the selection of receivers and transmitters operating at a frequency of 5 GHz, the design of different kinds of obstacles that often occur on the testing and implementation of scripts for testing measurements. With the testing is meant to approximate measurement of the spread of digital signals in the 5 GHz, depending on the different types of obstacles.

## **Key words:**

5GHz, obstacles, measuring propagation, IEEE 802.11a

## Seznam použitých zkratk

3D	Three-dimensional space. Trojrozměrný prostor
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying. Diferenciální binární klíčování fázovým posunem
DFS	Dynamic Frequency Selection. Dynamický výběr frekvence
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying. Diferenciální kvadrurní klíčování fázovým posuvem
DSSS	Direct-sequence Spread Spectrum
DXF	Drawing Exchange Format
EHF	Extremely High Frequency. Extrémně vysoká frekvence
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power. Ekvivalentní izotropický vyzářený výkon
ELF	Extremely Low Frequency. Extrémně nízké frekvence
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Evropský ústav pro telekomunikační normy
FCC	Federal Communications Commission
GSM	Groupe Special Mobile
HF	High Frequency. Vysoká frekvence
HiperMAN	High Performance Radio Metropolitan Area Network
HIPERLAN	High Performance Radio LAN
HSPA	High Speed Packet Access
IBSS	Independent Basic Service Set
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform. Inverzní diskretní Fourierova transformace
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Institut elektrických a elektronických inženýrů
IP	Internet Protocol
ISS	International Space Station. Mezinárodní kosmická stanice
ISP	Internet service provider. Poskytovatel internetových služeb
LAN	Local Area Network

LF	Low Frequency. Nízkofrekvenční
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MF	Medium Frequency. Střední frekvence
MIMO	Multiple-input and multiple-output. S více vstupy a více výstup
MTU	Maximum Transmission Unit
NLOS	Near-line-of-sight
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing. Ortogonální frekvenční multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol. Konvergence fyzické vrstvy protokolu
QoS	Quality of Service
QAM	Quadrature amplitude modulation. Kvadrurní amplitudová modulace
RF	Radio Frequency
SHF	Super High Frequency. Velmi vysoké frekvence
SLF	Super Low Frequency. Super nízká frekvence
TCP	Transmit Power Control.
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency. Velmi vysoká frekvence
ULF	Ultra Low Frequency. Velmi nízká frekvence
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure. Neoprávněné národní informační infrastruktury
VHF	Very High Frequency. Velmi vysoká frekvence
VLF	Very Low Frequency. Velmi nízká frekvence
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless LAN. Bezdrátová síť LAN

## Seznam použitých symbolů

$E$	intenzity elektrického pole	$V \cdot m^{-1}$
$T$	perioda	s
$f$	frekvence	Hz
$\lambda$	vlnová délka	m
$\varepsilon$	relativní permitivita prostředí	$F \cdot m^{-1}$
$\mu$	relativní permeabilita prostředí	$Hm^{-1}$
$\rho$	hustota materiálu	$kg/m^3$
$V$	objem	$m^3$
$m$	hmotnost	kg



# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Elektromagnetické vlny .....	2
3	Rádiové vlny .....	4
3.1	Dělení.....	4
3.2	Využití.....	5
4	Centimetrové vlny.....	6
4.1	Radar.....	6
4.1.1	Radarová pásma .....	7
4.1.2	Oblasti použití .....	7
4.2	WiMAX .....	8
4.2.1	Frekvenční pásma .....	9
4.2.2	OFDM.....	9
4.2.3	Porovnání Wi-Fi a WiMAX.....	10
4.3	Wi-Fi.....	10
4.3.1	IEEE 802.11 .....	10
4.3.2	802.11a.....	11
4.3.3	OFDM.....	11
4.3.4	Pásmo 5 GHz .....	12
5	Detailnější pohled na dosah a rychlost.....	15
5.1	Fresnelova zóna .....	15
6	Orientační měření.....	17
6.1	Překážky.....	17
6.2	Pracoviště.....	18
6.3	Výsledky experimentální části .....	19
6.4	Simulace šíření signálu v programu I-Prop.....	25
6.4.1	První režim – Floor Plan .....	26
6.4.2	Druhý režim – System Plan .....	26
6.4.3	Třetí režim – Prediction .....	27
6.4.4	Čtvrtý režim – Line Plot.....	27
6.5	Vyhodnocení měření .....	29
7	Analýza sítě pomocí iperf.....	30
7.1	Iperf.....	30

7.1.1	TCP měření .....	31
7.1.2	UDP měření .....	32
8	Závěr .....	35
9	Seznam použité literatury.....	36
	Příloha.....	37
A	CD .....	37

# 1 Úvod

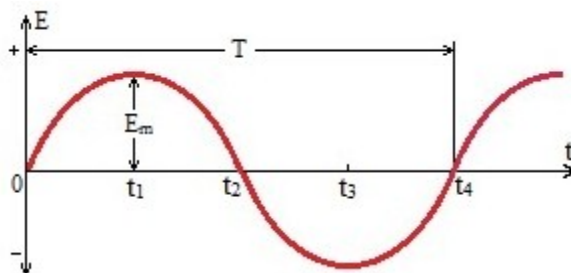
Oblast bezdrátových technologií zaznamenala v posledních letech nebývalý rozvoj. Přibývají nejrůznější možnosti, jak tyto technologie využívat, a to především pro připojení se do internetové sítě (např. Wi-Fi, WiMAX, satelit atd.). Mállokdy se podaří nějaké nové technologii přilákat spotřebitelský i podnikový trh tak rychle, jako tomu bylo v případě bezdrátových sítí wirelessfidelity (Wi-Fi).

Ujasněme si, co se rozumí termínem „bezdrátová síť“. Bezdrátovou sítí je taková síť, ve které můžeme komunikovat s jinými počítači z našeho vlastního počítače, aniž bychom byli k čemukoliv připojeni kabelem. Dnes přecházejí na bezdrátové technologie jak domácnosti, tak majitelé kaváren, drobní obchodníci, provozovatelé letišť, malé i velké společnosti. Bezdrátové sítě jsou úžasné díky charakteristikám samotných sítí a též díky způsobům, jimiž je možno tyto sítě používat k vytvoření nového typu komunikace v místech, kde předtím neexistovala.

Moje bakalářská práce se zabývá orientačním měřením šíření rádiového signálu v pásmu 5 GHz v závislosti na různých typech překážek. Práce je rozdělena do několika základních kapitol. Druhá kapitola se zaměřuje na elektromagnetické vlny a jejich šíření. Třetí kapitola popisuje rádiové vlny, jejich dělení a použití jednotlivých typů. V čtvrté kapitole je popsána historie a standard IEEE 802.11a bezdrátové technologie Wi-Fi a dalších technologií, které mají centimetrové vlny. V páté kapitole se nachází detailnější pohled na dosah a rychlost. Kapitola šestá uvádí výsledky orientačního měření, popis vzniku takových jevů jako je odraz, ohyb a pohlcení, odhady zeslabení signálu v pásmu 5 GHz způsobené různými překážkami a provedeno srovnání simulace šíření signálu s orientačním měřením. V kapitole sedm je popsáno způsoby testování rychlosti a propustnosti bezdrátové sítě a zpoždění a ztrátovosti paketů pomocí utility iperf, které byly naimplementovány do skriptů. V posledních kapitolách se nachází závěr bakalářské práce a použitá literatura.

## 2 Elektromagnetické vlny

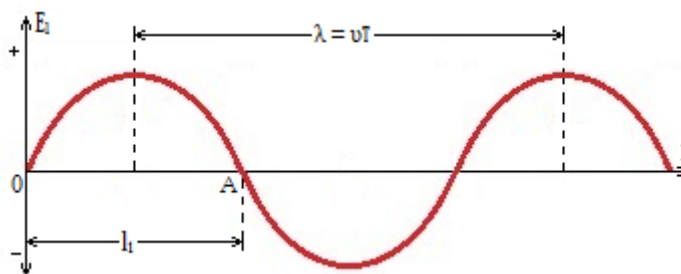
Pokud je vodič střídavého proudu, kolem vodiče vzniká navzájem propojené měnící se elektrické a magnetické pole, tj. elektromagnetické pole, které bude šířit v prostoru z jednoho bodu do druhého v podobě vln. Začneme objasněním procesu šíření elektrického pole elektromagnetické vlny. Předpokládejme, že jeho intenzita v blízkosti vodiče se mění v čase podle sinusové křivky (obr. 1).



Obr. 1: Grafické znázornění sinusové variace elektrického pole

Změna  $E$  začíná nulou a v čase  $t_1$  se intenzita pole zvyšuje na maximální hodnotu  $E_m$  (amplituda), pak od  $t_1$  do  $t_2$  – klesá na nulu; od  $t_2$  do  $t_4$  – prochází podobnou změnou, ale v opačném směru pole. Po  $t_4$  celý cyklus začíná znovu.[1]

Doba, za kterou dojde k jedné kompletní změně intenzity elektromagnetického pole, - je tzv. perioda oscilací  $T$ , a počet cyklů za sekundu je oscilační kmitočet (frekvence)  $f$ . Jednotkou frekvence je hertz [Hz] (Heinrich Rudolf Hertz německý fyzik).



Obr. 2: Šíření elektromagnetických vln

Vzdálenost, na kterou se šíří vlna v jednom období se nazývá vlnová délka  $\lambda$  (Lambda) (obr. 2). K vyjádření vlnové délky lze použít vztahy

$$\lambda = vT \quad (1.1)$$

nebo

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.2)$$

kde  $T$  je perioda,  $f$  je frekvence vlnění a  $v$  je fázová rychlost šíření vlnění. Když

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2)$$

pak ve vzduchu ( $\epsilon = \mu = 1$ ) délka vlny

$$\lambda = cT \quad (3)$$

V každém nevodivém prostředí, které obvykle  $\mu \approx 1$ , platí, že čím je větší hodnota dielektrické konstanty, tím je menší délka vlny, tj. [1]

$$\lambda = \frac{cT}{\sqrt{\epsilon}} \quad (4)$$

Elektromagnetické vlny projdou volně ve vzduchu nebo prostoru (vakuum). Ale pokud šíření vlny překážejí kovové překážky, předávají ji svou energii a způsobuje v vodiči střídavý elektrický proud. Ale ne všechna energie vlnění je absorbována vodičem, některé z nich se odráží od povrchu. Vlny mohou obíhat překážky, ale je to možné pouze v případě, že velikost překážky je menší, než je vlnová délka, nebo srovnatelná s ní. Energie nesená elektromagnetickou vlnou závisí na výkonu vysílače a vzdálenosti od něj. To znamená, že rozsah komunikace závisí nejen na úrovni výkonu, ale mnohem více i na vzdálenosti. [2]

### 3 Rádiové vlny

Rádiové vlny jsou část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 milimetru až po tisíce kilometrů. Rychlost šíření rádiových vln je ve vzduchu přibližně rovna rychlosti světla ve vakuu. [3]

Rádiové vlny jsou jen jedním z typů elektromagnetických vln, s kterými setkáváme v přírodě. Přírodní jevy jako je světlo, infračervené světlo, ultrafialové světlo, X-paprsky, gama-záření – tedy všechny druhy energie záření, se šíří ve formě elektromagnetických vln s různými délkami a frekvencí. Přestože celé spektrum je rozdělen do oblastí, hranice mezi nimi nejsou plánované. Oblasti by měly být průběžně následovat jedna po druhé, do sebe, ale v některých případech se překrývají.[2]

#### 3.1 Dělení

Radiové vlny se dále dělí na (tab. 1):

Mezinárodní zkratka	Frekvence	Vlnová délka	Český název	Anglický název
ELF	3 mHz - 3kHz	1000 km - 100 km	extrémně dlouhé vlny	Extremely Low Frequency
VLF	3 kHz - 30 kHz	100 km - 10 km	velmi dlouhé vlny	Very Low Frequency
LF	30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km	dlouhé vlny (DV)	Low Frequency
MF	300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m	střední vlny (SV)	Medium Frequency
HF	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m	krátké vlny (KV)	High Frequency
VHF	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m	velmi krátké vlny (VKV)	Very High Frequency
UHF	300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	ultra krátké vlny (UKV)	Ultra High Frequency
SHF	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	mikrovlny I	Super High Frequency
EHF	30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm	mikrovlny II (mm vlny)	Extremely High Frequency

Tab. 1: Rozdělení rádiových vln

### 3.2 Využití

Rádiové vlny slouží především ke komunikaci, a to v mnoha různých podobách. Následující tabulka 2 zobrazuje rozdělení rádiových vln na jednotlivá pásma a jejich využití:

Název pásma	Zkratka	Frekvence Vlnová délka	Příklad použití Extrémně nízká frekvence
Extrémně nízká frekvence	ELF	3-30 Hz 100 000 km – 10 000 km	Komunikace s ponorkami
Super nízká frekvence	SLF	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km	Komunikace s ponorkami
Ultra nízká frekvence	ULF	300–3000 Hz 1000 km – 100 km	Komunikace v dolech
Velmi nízká frekvence	VLF	3–30 kHz 100 km – 10 km	Komunikace s ponorkami, bezdrátové měřiče pulsu
Nízká frekvence	LF	30–300 kHz 10 km – 1 km	Navigace, časové signály, AM vysílání (dlouhé vlny)
Střední frekvence	MF	300–3000 kHz 1 km – 100 m	AM vysílání (střední vlny)
Vysoká frekvence	HF	3–30 MHz 100 m – 10 m	Krátkovlnné vysílání a amatérské rádio
Velmi vysoká frekvence	VHF	30–300 MHz 10 m – 1 m	FM rádiové a televizní vysílání
Ultra vysoká frekvence	UHF	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	Televizní vysílání, mobilní telefony, Wi-Fi, komunikace typu země-vzduch nebo vzduch-vzduch
Super vysoká frekvence	SHF	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	Mikrovlnná zařízení, Wi-Fi, většina moderních radarů
Extrémně vysoká frekvence	EHF	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	Radioastronomie, vysokorychlostní mikrovlnný přenos dat

Tab. 2: Rozdělení rádiových vln na jednotlivá pásma a jejich využití [3]

## 4 Centimetrové vlny

Centimetrové vlny je pásmo elektromagnetického záření s frekvencí od 3 GHz až 30 GHz. Vlastnosti šíření centimetrových vln se blíží vlastnostem šíření světla. Centimetrové vlny patří pod mikrovlnné záření. Za překážkami se vytváří ostré stíny. S ohledem na existenci radioreléových spojů je třeba plánovat i výstavbu domů nebo jiných výškových staveb, útlum způsobuje i lesní porost. Projevují se zde i vlivy počasí. K útlumu dochází například při hustém dešti nebo mlze. O tato pásma se dělí největší uživatelé jako je družicová služba, včetně družicového rozhlasu a televize, a pevná služba. [4]

Využíváme je v mnoha odvětvích lidské činnosti; jako mikrovlnná zařízení, k přenosu informací v rámci Wi-Fi, WiMAX, v radiolokaci, ve většině moderních radarů a v mnoha dalších.

### 4.1 Radar

Radiolokátor neboli radar (*Radio Detecting And Ranging*) - je elektronický přístroj určený k identifikaci, zaměření a určení vzdálenosti objektů pomocí velmi krátkých elektromagnetických vln (centimetrových a decimetrových). Mikrovlnné energie (používané frekvence se podle určení radiolokátoru pohybují od 30 MHz až po desítky GHz) jsou vysílány ve velmi krátkých impulzech o velkém výkonu a v pauzách jsou přijímány odražené vlny. Vyslané vlny se při šíření prostorem mohou odrážet od objektů (cílů) nebo od rozhraní jednotlivých prostředí (oblačnost, rozhraní teplého a studeného vzduchu atd.). Vzdálenost detekovaných předmětů je určována pomocí časové korelace vyslaného a přijímaného signálu. U jednoduchých přístrojů se zobrazuje tato vzdálenost v měřítku přístroje jako horizontální délka diagramu, příjem odraženého signálu jako vertikální úsečka. Prostorový obraz poskytují pozdější radiolokátorové sestavy s pohyblivými anténami v horizontálním i vertikálním směru. U dnes obvyklých panoramatických přístrojů horizontální anténa rotuje. Není to však podmínkou, fázované antény umožňují měnit směr vysílání a příjmu i bez pohybu. Moderní 3D přehledový lokátor tedy využívá rotaci antény a zároveň manipuluje s vysílacím a přijímacím svazkem což mu umožňuje měřit výšku cíle. Na stínítku pozorovací obrazovky se paprsek pohybuje souhlasně s anténou a při zachycení odrazu zesílí intenzita jeho světla (tímto způsobem bylo využíváno vlastností luminoforu na stínítku k integrování a tedy jistému způsobu filtrace), současně se vysvěcují úhlové a vzdálenostní značky, takže v měřítku přístroje vznikne na obrazovce mapa měřené oblasti s vyznačením všech odrážejících předmětů, jako jsou letadla a lodě s vyznačením jejich dopravních koridorů, velké městské objekty, vodní toky apod. Analogová zobrazovací zařízení jsou dnes nahrazována digitálními (tzv. extraktory), které umožňují zobrazovat více údajů, jsou přesnější v měření parametrů, komfortnější pro uživatele a umožňují snazší distribuci získaných dat uživatelům (případně současně slučování dat z více čidel).[5]



#### 4.1.1 Radarová pásma

Využití jednotlivých frekvencí (tab. 3):

Pásmo	Frekvence GHz	Vlnová délka cm	Využití
L	1-2	15-30	Řízení leteckého provozu
S	2-4	7.5-15	Řízení leteckého a námořního provozu, mikrovlnná trouba
C	4-8	3.75-7.5	Satelitní vysílání
X	8-12	2.5-3.75	Sledování a řízení raket, námořní radary, meteorologie, letecký provoz, radarové mapování
K	12-40	0.75-2.5	Radarové mapování, satelitní navigace, meteorologie, měření rychlosti, letecký provoz
mm	40-300	0.1-0.75	Trojrozměrné mapování

Tab. 3: Radarová pásma [6]

#### 4.1.2 Oblasti použití

##### 1. Letecká, lodní a pozemní doprava

- Pomocí primárních a sekundárních radiolokátorů se kontroluje a řídí provoz na letištní ploše i ve vzdušném prostoru. Zvlášť důležitá je možnost navigace letadel i při nepříznivém počasí a v noci. Stejně potřebné jsou radary pro zajištění bezpečné plavby a navigace námořních i říčních lodí.

##### 2. Vojenské aplikace

- V této oblasti našly své místo už první radary. Dnes slouží například k řízení letového provozu a navigaci, k detekci a sledování pozemních, námořních i vzdušných cílů, jako palubní stílečné radiolokátory. Bez nich by nebyla možná včasná výstraha na vzdálenost stovek i tisíců kilometrů v rámci protivzdušné obrany, jsou i nezbytnou součástí globálního systému protiraketové obrany atd.

•

##### 3. Radarový snímač hladiny

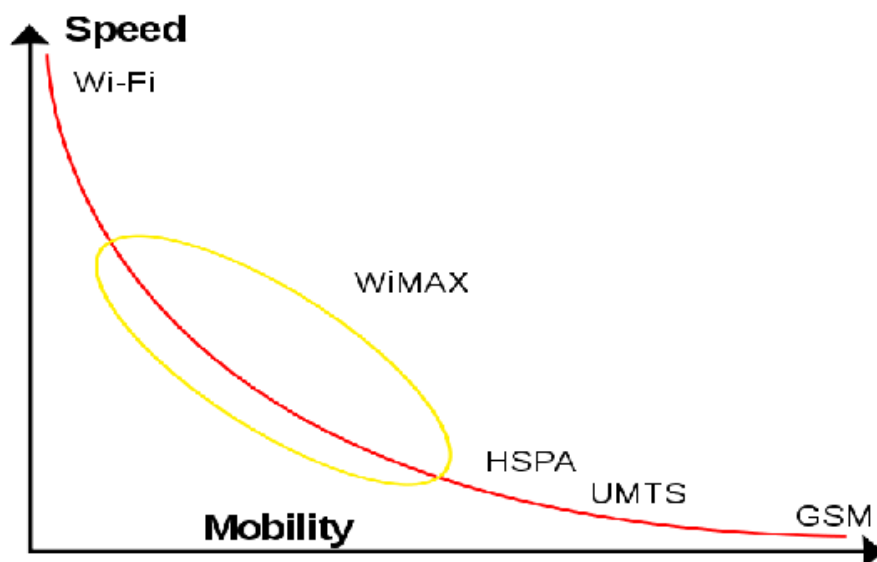
- Využívá se k měření výšky hladiny ve velkých uzavřených nádržích, například v podzemních zásobnících pohonných hmot. V horní části nádrže je nainstalována radarová anténa, která vysílá impulzy směrem k hladině kapaliny. Z časového rozdílu mezi vyslaným a přijatým impulzem se určí výška hladiny, objem kapaliny v nádrži, rychlost změny hladiny a další údaje.

#### 4. Kosmický výzkum a astronomie

- Radarová měření se používají k navigaci při spojování družic a kosmických lodí (např. na mezinárodní stanici ISS). Kosmické sondy, směřující k planetám sluneční soustavy, jsou vybaveny radarovými dálkoměry a výškoměry. Radarové snímkování povrchu planet je důležitým zdrojem informací o těchto tělesech, vzdálených od nás i stamilióny kilometrů.[6]

### 4.2 WiMAX

WiMAX je zkratka anglického označení „Worldwide Interoperability for Microwave Access“. WiMAX je první otevřené řešení pro bezdrátový přístup v pásmech 2–11 GHz (obr. 3), které díky vyspělým technologiím, vyššímu vysílacímu výkonu a použití směrových antén nabízí velký dosah signálu – teoreticky kolem 50 km při přímé viditelnosti a několik kilometrů v městské zástavbě při využití spojení bez přímé viditelnosti (NLOS). Výhodou je rovněž kapacita připojení do 75 Mb/s, kterou lze rozdělit mezi desítky klientů a každému z nich garantovat stabilní přenosovou rychlost. Další vlastností je zabudovaná podpora QoS. Řízení kvality služeb umožňuje na wimaxových spojkách provozovat například IP telefonii nebo přenášet video v reálném čase a v dostatečné kvalitě. Cílem WiMAX Fóra, které sdružuje několik desítek společností, je standardizační proces, který má zajistit, aby širokopásmové bezdrátové technologie od různých výrobců vzájemně spolupracovaly. Hlavním účelem WiMAXu je nasazení vyspělých funkcí v jednotné technologii a snížení nákladů na zařízení výrobců, kteří jsou členy skupiny WiMAX Forum. [7]



Obr. 3. Rychlost vs. mobility systémů bezdrátových: Wi-Fi, WiMAX, HSPA, UMTS, GSM[8]

#### 4.2.1 Frekvenční pásma

První verze standardu byla publikována v roce 2002 přímo pod číslem 802.16 a definovala přístupovou technologii s nutností přímé viditelnosti (LOS – Line of Sight) a pro frekvenční pásma 10-66 GHz. V dubnu 2003 byla publikována další verze standardu pod označením 802.16a. Ta definuje frekvence v rozsahu 2-11 GHz (obr. 4), tedy jak licencované, tak bez licenční frekvence. Dosah dle této specifikace je 40-70 km a zatímco u původního standardu 802.16 byla přenosová rychlost až 134 Mb/s, v případě 802.16a klesá zhruba na polovinu, tedy 70 Mb/s. Přesunem do nižšího frekvenčního pásma a využitím OFDM pracuje 802.16a v režimu NLOS, tedy nevyžaduje přímou viditelnost mezi základnovou stanicí a klientským adaptérem. Novinkou je také podpora samo organizující se topologie, tedy „mesh“ architektury. V současnosti se kromě jiného uvažuje o začlenění technologie WiMAX do standardu mobilní sítě 4. generace a jako přenosového prostředku pro technologii HSPA. [8]

Frekvence [GHz]	Licencování
3,5	Licencované, mezinárodní pásmo
10,5	Licencované, mezinárodní pásmo
2,5 – 2,7	Licencované, USA, S. Amerika
2,4	Nelicencované, mezinárodní
5,725 – 5,825	Nelicencované, mezinárodní

Tab. 4: Pracovní frekvence pro WiMax[8]

#### 4.2.2 OFDM

Nižší frekvence mají lepší propagační vlastnosti, samo o sobě to ale nestačí. Proto 802.16a přidává podporu OFDM, ortogonálního frekvenčního dělení multiplexu. OFDM je méně náchylné k vícecestným interferencím, protože každý přenášený symbol trvá na dílčí nosné déle, což eliminuje vliv zpoždění delší cestou. [8]

Při OFDM modulaci celá šířka pásma se rozdělí na více úzkých pásem případně ortogonálních podkanálů. Původně širokopásmový signál je následně rozdělen a přenášen po těchto úzkých pásmech paralelně pomocí inverzní diskrétní Fourierovy transformace (IDFT).[8]

802.16a specifikuje tři možnosti pro OFDM s tím, že ponechává do budoucna otevřená vrátka pro přidání dalších variant OFDM:

1. OFDM s 256 podkanálů – to je také jediná varianta zakomponovaná do ETSI standardu HiperMAN. Proto je HiperMAN podmnožinou WiMAXu.
2. OFDMA s 2048 podkanály (OFDMA je Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
3. OFDM s jedním kanálem pro výrobce, kteří mají jiné řešení pro potlačení vícecestných interferencí.

V současné době probíhají první implementace a nasazení WiMax sítí od výrobců jako je Alvarion. V ČR vzniká první testovací WiMax síť v Českém Krumlově.[8]

### 4.2.3 Porovnání Wi-Fi a WiMAX

WiMAX síť je topologicky stejné řešení jako Wi-Fi - tedy Point-Multi-Point řešení, ale obě technologie se liší v cílové oblasti jejich nasazení.

Wi-Fi technologie je určena spíše pro indoor použití nebo pro pokrytí areálů kde se počítá, že provozovatel a samotní účastníci budou jedna společnost nebo komunita. Naproti tomu WiMAX technologie je navržena jako rozlehlá bezdrátová síť – spíše obdoba metropolitních sítí LAN – a je určena jako širokopásmový bezdrátový přístupový systém pro venkovní nasazení. Tyto sítě užívají spíše ISP a telekomunikační operátoři a proto je ve WiMAX technologiích implementována podpora QoS, jsou řešeny návaznosti na billing systémy, podpora provozu ve venkovních podmínkách. V současné době jsou WiMAX zařízení řešena jako outdoorové, a to se částečně projevuje i v jejich vyšší ceně. [6]

Principiálně je možné používat WiMAX síť obdobně jako Wi-Fi zařízení, ale zatím tomu brání několik aspektů:

- WiMAX technologie jsou na svém začátku a jako každá nová technologie jsou v této fázi dražší než zavedené obdobné technologie
- Dnes jsou dostupná pouze outdoorová WiMAX zařízení, která jsou obvykle koncipována jiným způsobem než indoor Wi-Fi zařízení
- V současné době představuje základnová stanice WiMAX řešení velkou část nákladů na bezdrátové řešení a zatím se podle vyjádření analytiků nedá očekávat výrazné snížení ceny základnové stanice WiMAX na úroveň obvyklou ve Wi-Fi řešeních
- Zatím všechna uváděná WiMAX řešení jsou typu Point-Multi-Point a využití jako spoje Bod-Bod se nejví ekonomicky výhodné.

Očekáváme, že s výrazným nárůstem instalovaných WiMAX zařízení se tato technologie bude používat i v oblastech, kde je dnes využívána Wi-Fi technologie, ale nelze očekávat, že se tak stane v řádu několika měsíců.[7]

## 4.3 Wi-Fi

Radiokomunikační bezdrátové sítě jsou konstruovány v několika variantách. Většina technologií, které jsou dnes k dispozici, má společných několik charakteristických vlastností včetně používání frekvenčních pásem 2,4 GHz nebo 5 GHz a technologie rozprostřeného spektra. [9]

### 4.3.1 IEEE 802.11

Institut inženýrů elektrotechniky a elektroniky vyvíjí a schvaluje normy pro širokou řadu počítačových technologií. Tato organizace vytváří pracovní skupiny technologických expertů

zastupujících dodavatele a vědecké inženýrské kruhy za účelem studia, přezkoumání a schválení navrhovaných norem, na kterých pak mohou být založeny nové výrobky. IEEE označuje síťové normy číslem 802. Normy pro bezdrátové sítě – tvořící podskupinu norem 802 – jsou označovány číslem 11. Z tohoto důvodu spadají normy IEEE pro bezdrátové sítě pod označení 802.11. [9]

První bezdrátová norma IEEE přijatá v roce 1997 byla jednoduše nazvána IEEE 802.11 a její revize 802.11 High Rate. Jednalo se o rádiovou normu pracující ve frekvenčním pásmu 2,4GHz s maximální propustností 2 Mbit/s. V roce 1999 došlo k přejmenování normy 802.11 High Rate na 802.11b a byla přidána norma pro ještě vyšší rychlost 802.11a používající odlišnou metodu rozprostředného spektra a pracuje na frekvenčním pásmu 5 GHz.[9]

<b>Přehled standardů IEEE 802.11</b>				
<b>Standard</b>	<b>Rok vydání</b>	<b>Pásmo [GHz]</b>	<b>Maximální rychlost [Mbit/s]</b>	<b>Fyzická vrstva</b>
<u>IEEE 802.11a</u>	1999	5	54	OFDM
<u>IEEE 802.11b</u>	1999	2,4	11	DSSS
<u>IEEE 802.11g</u>	2003	2,4	54	OFDM / MIMO
<u>IEEE 802.11n 2.0</u>	2007 (pouze návrh)	2,4 nebo 5	540	MIMO

Tab. 5: Přehled standardů IEEE 802.11

#### 4.3.2 802.11a

Norma IEEE 802.11a, která byla schválena brzy po normě 802.11b, pracuje ve frekvenčním pásmu 5 GHz a poskytuje rychlosti až do 54 Mbit/s. Norma 802.11a používá metodu rozprostředného spektra OFDM. Zatímco se výrobky vyrobené na základě normy 802.11b objevily krátce poté, co norma získala schválení od IEEE, začala se zařízení vyrobená na základě normy 802.11a objevovat až v roce 2002. Provedeme-li porovnání s přeplněným frekvenčním pásmem 2,4 GHz, ve kterém pracují další normy 802.11, je frekvenční pásmo 5 GHz používané normou 802.11a širokým otevřeným pásmem, ve kterém jen několik málo dalších aplikací usiluje o přístup. Toto širší pásmo poskytuje více kanálů a větší šířku pásma pro bezdrátovou komunikaci.[9]

#### 4.3.3 OFDM

OFDM se používá v 802.11a, výhodou jsou vysoké rychlosti přenosu dat, které dosahují až 54 Mbit/s. Namísto vytváření velkého datového kanálu pro předání dat OFDM vysílá bity přes více podkanálů pracujících paralelně na různých frekvencích. Obdobně jako paralelní zpracování v superpočítačovém světě umožňuje OFDM jednotlivému procesoru soustředit se na určitý malý

objem informací, nezatížený jinými úlohami. Když pak budou na konci datového přenosu všechny dílčí kanály složeny dohromady (multiplexováním), bude výsledkem vysoká propustnost. Kanály OFDM se překrývají, ale přítomnost jednoznačných identifikátorů uvnitř každého kanálu snižuje podstatným způsobem potenciální interferenci. V normě 802.11a, která pracuje ve frekvenčním pásmu 5 GHz, má každý kanál OFDM šířku 20 MHz, s 48 pomocnými nosnými vlnami na kanál (plus 6 pomocnými nosnými vlnami pro zajištění režie). [9]

Vrstva OFDM podporuje několik rychlostí přenosu dat využitím různých postupů frekvenční modulace pro dosažení každé takové rychlosti. Úrovně rychlostí přenosu dat u OFDM jsou 6 a 9 Mbit/s, 12 a 18 Mbit/s, 24 a 36 Mbit/s, 48 a 54 Mbit/s. První úroveň používá DBPSK, druhá DQPSK. Třetí přidává k DBPSK kvadraturní amplitudovou modulaci (QAM). Dvojice hodnot 48 a 54 Mbit/s kombinuje QAM s DQPSK. [9]

Obdobně jako klíčování fázovým posuvem, vyjadřuje modulace QAM kódování z hlediska datových bitů na symbol. 16-QAM používaná pro úroveň OFDM 24 a 36 Mbit/s vrstvy provádí kódování čtyř datových bitů za použití 16 symbolů na podkanál. 64-QAM používaná pro 48 a 54 Mbit/s používá 64 symbolů pro kódování 6 bitů na podkanál.[9]

#### 4.3.4 Pásmo 5 GHz

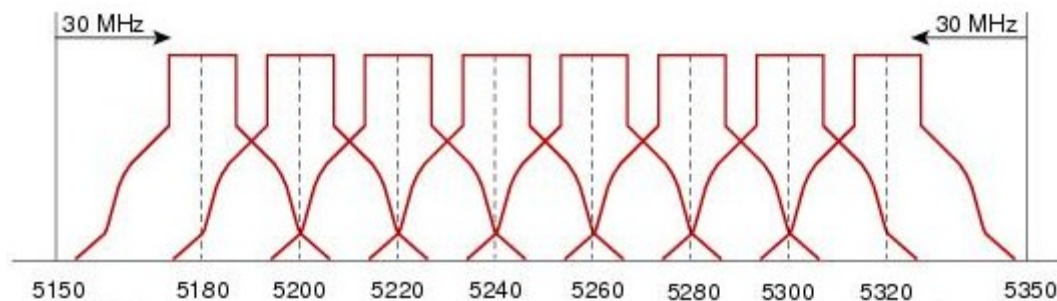
Bohužel tento standard Wireless LAN koliduje s předpisy jednotlivých států, takže provoz sítě 802.11a není většinou povolen. Důvod je skryt ve způsobu dodržení rozhodnutí, podle kterých se bezdrátové sítě v 5 GHz pásmu musí řídit. V Evropské unii o těchto regulacích rozhoduje evropský telekomunikační regulátor ETSI. ETSI vytvořilo vlastní standard HIPERLAN/2 (High Performance Radio LAN) pracující v pásmu 5,15 – 5,35 GHz. Ten je v České republice povolen s použitím zařízení o výkonu do 200mW, pokud nemají zabudovanou dynamickou kontrolu vysílacího výkonu (TCP – Transmit Power Control) a automatickou volbu frekvence (DFS – Dynamic Frequency Selection). Díky tomu jsou všechna běžná zařízení používaná v USA pro provoz v Evropě nevhodná. Důvod a účel: TCP a DFS mají zajistit, aby Wireless LAN v 5 GHz pásmu nerušila kritické oblasti rádiového vysílání, především vojenské radary. WLAN má díky kontrole vysílacího výkonu dosahovat pouze tak daleko, jak je to nutné, tedy tak silně vyzařovat, jak to podmínky vyžadují. Dále se stále kontroluje, zda není v aktuálním pásmu další přenos. Pokud ano, pak se okamžitě automaticky změní vysílací kanál. Tímto je zaručeno, že mohou Wireless LAN a další aplikace v 5 GHz pásmu fungovat bez toho, aby se navzájem rušily. Aby bylo možné zařízení používat, musí být buď snížen vysílací výkon zařízení, nebo implementovány mechanismy TCP a DFS. Pokud je snížen vysílací výkon zařízení 802.11a, je snížen také dosah jejich signálu. Proto lze tato zařízení používat pouze na malých vzdálenostech. [10]

Velkou výhodou sítě 802.11a/h je to, že umožňují současný provoz na 19 kanálech (pásů). Díky tomu lze současně provozovat velké množství WLAN bez toho, aby byl nějaký kanál omezen jiným (jako u IEEE 802.11b), což není u žádného jiného standardu Wireless LAN možné. Ale technika pro IEEE 802.11a/h je určena především pro profesionální nasazení, např. firemní sítě. Vyšší pořizovací náklady ve srovnání se standardem g se průměrnému uživateli nevyplatí. [10]

Regulační domény	Frekvenční pásmo [GHz]	Číslo kanálu	Frekvence [GHz]
United States	5.150 - 5.250	36	5.180
Canada		40	5.200
Europe		44	5.220
Japan		48	5.240
China			
United States	5.250 - 5.350	52	5.260
Canada		56	5.280
Europe		60	5.300
China		64	5.320
United States	5.470 - 5.725	100	5.500
Canada		104	5.520
Europe		108	5.540
China		112	5.560
		116	5.580
		120	5.600
		124	5.620
		128	5.640
		132	5.660
		136	5.680
		140	5.700
United States	5.725 - 5.825	149	5.745
		153	5.765
		157	5.785
		161	5.805

Tab. 6: Frekvence a čísla kanálů pro 5 GHz pásmo po celém světě [11]

Frekvenční pásmo 5 GHz je rozděleno do čtyř pásů pro celosvětovou působnost. Každá z pásů má pevný počet kanálů a omezení na přenos RF energie. Spodní pásmo se pohybuje od 5.150 GHz do 5.250 GHz (obr. 4), střední pás se pohybuje od 5.250 GHz do 5.350 GHz (obr. 4), a horní pásmo se pohybuje od 5.725 GHz do 5.825 GHz. V roce 2003 FCC přijala oznámení o navrhované tvorbě pravidel přidávající další 255 spektra na střední U-NII pásmo v rozmezí 5.470 až 5.725 GHz pro uživatele pracující v USA. Tento dodatečný spektr poskytuje 23 kanály, a celkovou šířku pásma 555 MHz pro IEEE 802.11a a Wi-Fi zařízení pracující od 5.150 GHz do 5.825 GHz (tab. 6). [11]



Obr. 4: Kanály pro 5GHz pásmo

U bezdrátových sítí v bez licenčním pásmu je při plánování bezdrátových spojů důležité omezení: Úroveň vysílaného signálu na výstupu z antény nesmí přesáhnout určitou maximální hodnotu. Ta je stanovena Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ) v tzv. Všeobecném oprávnění VO-R/12/08.2005-34. Výkony u Wi-Fi zařízení jsou udávány stejně jako u většiny VF zařízení v dBm (decibelmiliwatt). Výpočet dBm je dle následujícího vzorce:

$$P_{dBm} = 10 \log (P_w \cdot 1000) \quad (5)$$

$P_w$  je výkon ve wattech. Pokud má tedy zařízení výkon 1 mW, rovná se to výkonu 0 dBm; 17 dBm odpovídá výkonu 50 mW a 20 dBm pak výkonu 100 mW. Obvyklé maximální vysílací výkony u Wi-Fi zařízení jsou 15 – 18dBm. Některé výrobky mají až 26 dBm.[12]

Všechny zde uvedené výkony (tab. 7) v mW pak jsou uváděné jako EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power – účinný izotropní vyzářený výkon). EIRP znamená, výkon rádiového signálu vyzářeného anténou vysílače, jako by byl vyzářen z bodového zdroje rovnoměrně ve všech směrech – izotropicky. Pokud se tedy přivede 100mW do všesměrové antény se ziskem 0 dB pak je to 100mW EIRP. V Evropské unii jsou však povolena jen některá pásma dle tabulky v závislosti na vyzářeném výkonu[12]

Skupina	Pásmo	Vyzářený výkon	Další podmínky
<b>a</b>	2400–2483,5 MHz	100 mW e. i.r.p.	
<b>b</b>	5150–5250 MHz	200 mW střední e. i.r.p	pouze pro použití uvnitř budovy
<b>c</b>	5250–5350 MHz	200 mW střední e.i.r.p.	
<b>d</b>	5470–5725 MHz	1 W střední e.i.r.p.	maximální střední e.i.r.p.je 50mW /MHz v libovolném 1MHz

Tab. 7: Výkon rádiového signálu [11]



## 5 Detailnější pohled na dosah a rychlost

Signál vysílaný vysílačem je se zvětšující se vzdáleností od vysílače čím dál tím slabší. Účinnost bezdrátových sítí je stejně jako u ostatních zařízení založených na přenosu elektromagnetických vln závislá na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Také médium (vzduch, dřevo, sklo) nacházející se mezi nimi hraje velmi významnou roli.

Čím dále jsou od sebe jednotlivá koncová zařízení WLAN, tím nižší je přenosová rychlost. Teoretické dosahy sítí dle jednotlivých standardů IEEE 802.11 jsou uvedeny v tabulce 8.

Standard	Rychlost	Dosah – v budově	Dosah – venku
IEEE 802.11a	54 Mbps	10 m	20 m
IEEE 802.11g	54 Mbps	30 m	100 m
IEEE 802.11b	22/11 Mbps	30 m	100 m

Tab. 8: Přibližné rychlosti standardů IEEE 802.11[10]

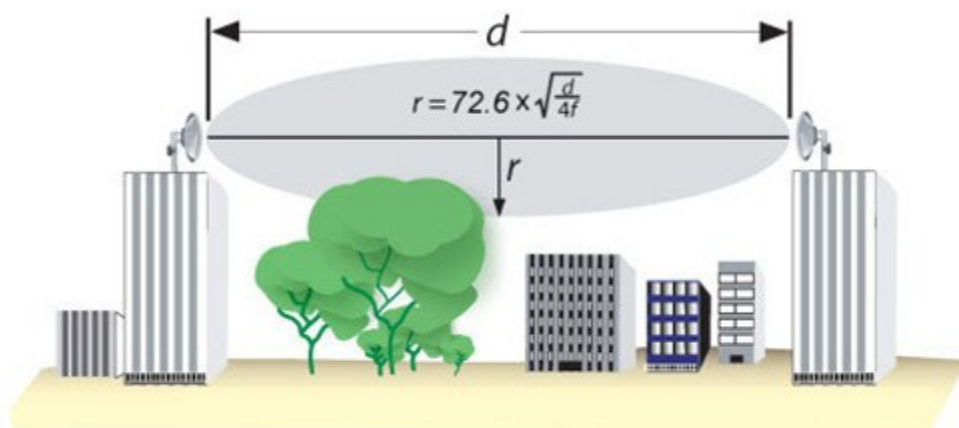
Avšak údaje v této tabulce jsou pouze teoretické. V praxi vzniká v bezdrátových sítích spousta balastních dat, proto jsou dosahy sice dodrženy, ale přenosová rychlost dosahuje pouze cca 60%. Toto souvisí především s přenosem velkého množství řídicích dat a také s chybami při přenosu dat (a posíláním datových paketů znovu). Při špatném příjmu je Wireless LAN velmi pomalá a téměř nepoužitelná. Používané antény jsou totiž všesměrové a vysílají tedy svoji energii do všech stran.[10]

Mnoho výrobců se snaží zvýšit přenosovou rychlost komprimací dat a skládáním menších paketů do větších. Přesto je účinek těchto „turbo“ opatření velmi omezený, neboť velké množství dat je přenášeno v komprimované podobě (archivy zip, video, atd.) nebo je nelze rozdělit tak, aby se přenosová rychlost zvýšila.

Díky vyšší vysílací frekvenci zařízení IEEE 802.11a se u těchto zařízení výrazně snižuje dosah signálu. Je to stejné jako u starých rádií – stanici, která vysílá v oblasti krátkých vln, lze naladit ve větším okruhu než stanici vysílající v oblasti středních vln. Pro bezdrátové sítě s vysokým přenosem dat umístěné na malé ploše je asi nejvhodnější standard IEEE 802.11a. Pokud má síť pracovat ve větších vzdálenostech, pak se lepší standard IEEE 802.11g.

### 5.1 Fresnelova zóna

Další faktor, který ovlivňuje sílu a kvalitu signálu, dokonce i tam, kde existuje dobrá přímá viditelnost mezi dvěma anténami, souvisí s lomem a odrazem. Tak zvaný Fresnelův jev pojmenovaný po fyzikovi Augustinu Fresnelovi říká, že síla signálu se z hlediska jeho intenzity zvyšuje nebo snižuje podle jeho vzdálenosti od předmětu, kolem kterého dochází k lomu signálu. Chcete-li maximalizovat lomený signál, musíte zajistit, aby oblast, kde se projevuje Fresnelův jev (nazývaná Fresnelova zóna, obr. 5), neobsahovala žádné překážky.[9]



Obr. 5: Fresnelova zóna

Fresnelova zóna je prostor (elipsoid) ležící na přímce mezi vysílačem a přijímačem (Wi-Fi anténou). Nejširší je Fresnelova zóna uprostřed vzdálenosti mezi anténami. Stínění ve Fresnelově zóně nemá za následek podstatné snížení síly signálu, pokud ale signálu v cestě stojí libovolný předmět generují se rušivé odrazy. Velikost Fresnelovy zóny se liší podle typu předmětů, které se nacházejí v blízkosti cesty signálu – stromy a rostliny, které obsahují vodu, obvykle zvětšují Fresnelovou zónu, nebo v nich obsažená voda pohltí výraznou část rádiového signálu. [9]

## 6 Orientační měření

Cílem mé práce je provést orientační měření šíření digitálního signálu v pásmu 5 GHz a zjistit ztrátu signálu v závislosti na typu překážky. S ohledem na to, že se jedná o orientační měření, jsou zapotřebí překážky o velikosti od 10 cm a víc (víme, že vlnová délka centimetrové vlny je 1-10 cm), aby došlo k těmto jevům: odraz, pohlcení a ohyb.

### 6.1 Překážky

Rozdíl mezi kabelovými a bezdrátovými sítěmi v tom, že šíření rádiového signálu v bezdrátové síti mohou bránit nějaké překážky. Stavební materiály mohou mít významný vliv na sílu rádiového signálu. Zatímco dřevo a nepotažené sklo nepřispívají nijak významně k rušení signálu, u kovu tomu je naopak. Rušení je od stěn nebo stropů s velkým množstvím kovu a též od vzduchových potrubních vedení. Okna mohou rovněž vytvářet rušení, rušení může také pocházet od dalších zařízení ve frekvenčním pásmu 5GHz.

Ujasňme si pojmy objem a hustota. Ve fyzice nazýváme tělesem určitý objem  $V$ , v němž je nějakým způsobem rozložena hmotnost, ať již spojitě nebo nespojitě. Víme, že všechna tělesa jsou tvořena molekulami a atomy, atomy jádry a elektrony atd. Je-li však těleso tvořeno velkým množstvím atomů, můžeme od jeho nespojitě struktury odhlédnout a považovat rozložení hmotnosti v tělese za spojitě. Jde tedy o spojitost ve fyzikálním smyslu - v sebemenším uvažovaném objemu spojitěho tělesa musí být stále dosti atomů.

Je-li těleso homogenní a existuje-li limita objemu tělesa, hovoříme o hustotě, v ostatních případech zavádíme pojem objemová hmotnost. V obou případech veličinu značíme  $\rho$  a jednotkou je  $\text{kg/m}^3$  podle vztahu

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Byl použit seznam překážek, které se nejčastěji vyskytují s ohledem na hustotu materiálu, která se vypočítá ze vzorce (6). Velikost každé překážky se rovná  $1\text{m}^2$ , kde délka = 1m, výška = 1m, tloušťka = 5-10mm. Byly použity tyto překážky:

1. Dřevo (hustota  $800 \text{ kg/m}^3$ ). Ve srovnání s jinými materiály je určení hustoty u dřeva poměrně obtížné vzhledem k hygroskopicitě dřeva. Jak hmotnost, tak i objem dřeva jsou velmi ovlivněny vlhkostí dřeva. Přesto jde o jednu z nejvýznamnějších charakteristik dřeva, která významně ovlivňuje většinu fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Hustotu dřeva můžeme považovat za nejlepší kritérium pro posuzování vlastností dřeva. Byl zvolen typ dřeva dub. Dub je jako jeden z celosvětově nejoblíbenějších druhů dřeva ideálním materiálem pro výrobu nábytku. Využívá se ve špičkové interiérové a exteriérové truhlářině a také jako podlahová krytina.

2. Sklo (hustota  $2500 \text{ kg/m}^3$ ). Sklo patří k velmi významným materiálům s širokým uplatněním v průmyslu, stavebnictví, architektuře i umění. Ve stavebnictví se nejčastěji používá k zasklívání okenních a dveřních otvorů. Významně se uplatňuje také jako architektonický prvek, kdy hraje výraznou úlohu při vytváření interiérů a exteriérů. Sklo je anorganický amorfni (nekrytalický) materiál, vyrobený tavením vhodných surovin a následným řízeným ochlazením vzniklé skloviny bez krystalizace. Skelný stav vzniká plynulým přechodem ze stavu kapalného do stavu pevného, při ochlazování skla dochází k plynulému růstu viskozity až na tak vysokou hodnotu, že se materiál navenek jeví jako pevná látka.
3. Sádrokarton (hustota  $770 \text{ kg/m}^3$ ). Sádrokarton je již delší dobu součástí stavebního trendu a to jak v systému průmyslových staveb, tak i v systému rodinných staveb a bydlení je dnes sádrokarton nepostradatelný. Používá se pro rekonstrukce, přestavby, zateplování, půdní vestavby, zvukotěsné a akustické příčky, minerální, kazetové a akustické podhledy. Sádrokarton nabízí opravdu široké možnosti využití. Základní věc ovšem je, že sádrokartony jsou vhodné pro vnitřní potřebu a nejsou určeny pro nosné konstrukce. Další důležitou vlastností, kterou sádrokarton má, je jeho nehořlavost.
4. Polystyren (hustota  $20 \text{ kg/m}^3$ ). Polystyren jako stabilizovaná fasádní deska z lehčeného polystyrenu se sníženou hořlavostí a mimořádnou paropropustností, používá se u starých staveb i novostaveb jako tepelná izolace střech, izolace fasád, izolace podlah. Pěnový polystyren je dnes asi nejběžnější izolační materiál. Vyrábí se tak, že se malé kuličky PS obsahující 6 - 7 % pentanu, který slouží jako nadouvadlo, předpění, naplní se do formy. Zahříváním jsou „dopěněny“ tak, že vyplní celý prostor formy a vznikne velký blok pěnového polystyrénu. Bloky jsou pak rozřezány na desky požadované tloušťky. Zpravidla se k polystyrénu přidávají retardéry hoření pro zajištění samozhášivosti.
5. Kov (hustota  $7800 \text{ kg/m}^3$ ). Kovy v současnosti nejsou ve většině aplikací používány v čisté formě, ale spíše ve formě slitin s jinými prvky. Když se však porozhlédneme kolem sebe, to pochopíme. Všude okolo nás jsou totiž ploty, zábradlí, mříže, regály, plechy, kryty, baterie, kovové dveře, stoly a židle, konstrukční trubky a jiné kovové konstrukce.

## 6.2 Pracoviště

Jako měřicí pracoviště (obr. 9) pro praktická měření bylo zvoleno místo, kde nejsou k dispozici žádné překážky a 5 GHz pásma, aby nedošlo k rušení měření. Byly použity dva notebooky, jeden byl propojen s routerem - model Cisco AIR-AP1252AG-E-K9, který slouží jako vysílače, a druhý notebook byl propojen s kartou AIR-CE21AG-E-K9, který slouží přijímačem.

Rychlý přehled zařízení:

### 1) Cisco AIR-AP1252AG-E-K9:

- Popis: router (obr. 6) usnadňuje přístup k Internetu a tvoří most mezi dvěma sítěmi (Internet a WLAN). Maximální rychlost datového přenosu =  $54 \text{ Mbit/sec}$ .

- Typ zařízení: externí krabička
- Cena: od 18 000 Kč
- Wi-Fi třídy: 802.11 a/b/g
- Frekvenční pásmo: 2.4 / 5 GHz
- Max. dosah – volné prostranství: 290 m
- Max. dosah – v budově: 140 m



Obr. 6: Cisco router

## 2) Wireless PC Card AIR-CE21AG-E-K9 pro notebooky:

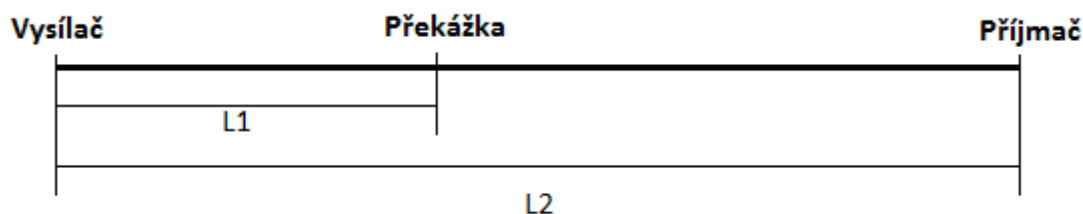
- Popis: PC Card (obr. 7) nabízí High Tech zařízení s minimálními rozměry určené pro sběrnice PCMCIA. Zdířka umístěná nejčastěji na straně notebooku je to pravé místo pro připojení této krabičky. Anténa je většinou umístěna do této malé krabičky, což může ovlivnit příjem.
- Typ zařízení: PC Card
- Cena: od 1 000 Kč
- Wi-Fi třídy: 802.11 a/b/g
- Frekvenční pásmo: 2.4 / 5 GHz



Obr. 7: PC Card

Pro komunikace byla vytvořena Ad-hoc Wi-Fi síť protože její možno zřídit všude, kde jsou alespoň dva počítače s Wi-Fi adaptéry. Ad-hoc síť sestává pouze z jednotlivých počítačů propojených bezdrátovým způsobem. Na této bezdrátové síti není za potřebí žádný přístupový bod, který by ji řídil, poskytoval by DHCP, firewall, přístup na internet nebo zdokonalené zabezpečení. Jeden notebook používá se pro vytvoření sítě, pak ostatní notebooky připojí do sítě. Taky je třeba nastavit IP adresu každého počítače tak, aby všechny počítače na dané síti byly ve stejné podsíti. Spojení typu Ad-hoc hotové téměř ihned, klient je malým samostatným přístupovým bodem. Takto nezávislá síť se nazývá Independent Basic Service Set (IBSS). Nabízí omezenému počtu klientů, kteří od sebe nejsou příliš vzdáleni, možnost oboustranné komunikace a sdílení souborů bez nutnosti velkého plánování sítě.

Schéma (obr. 8) podle které se bude měřit šíření signálu přes překážky v pásmu 5 GHz, kde L1 – vzdálenost překážky od vysílače, L2 – vzdálenost přijímače od vysílače.



Obr. 8: Schéma měření

Standard měření pro každý typ překážky:

Překážka = (const) 1 ks

L1 = (const) 0.5 m

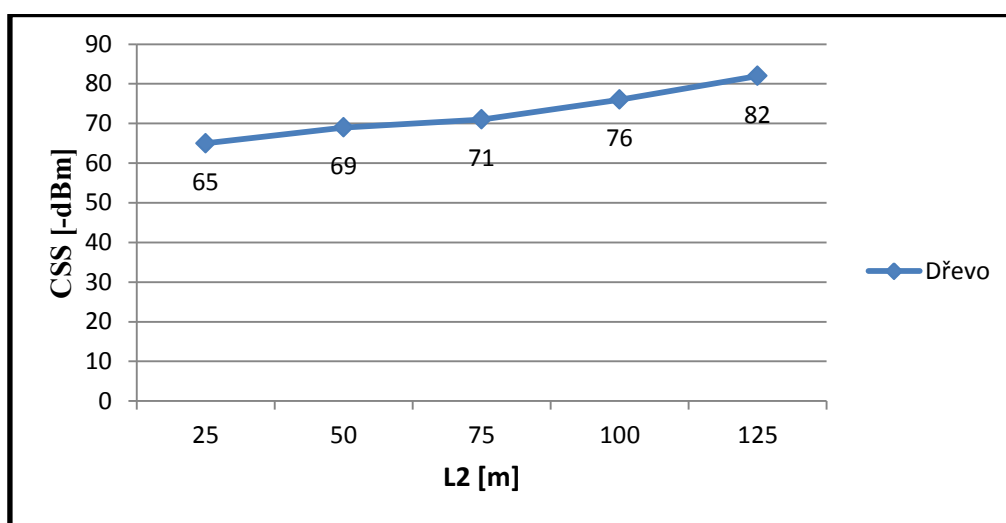
L2 = (25,50,75,100,125) m

## 6.3 Výsledky experimentální části

Výsledky měření šíření signálu pro typ překážky dřevo a  $L1 = 0.5$  m jsou shrnuty v tabulce 9.

Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Dřevo	1	0.5	25	65
	2	0.5	50	69
	3	0.5	75	71
	4	0.5	100	76
	5	0.5	125	82

Tab. 9: Naměřené hodnoty, typ překážky dřevo

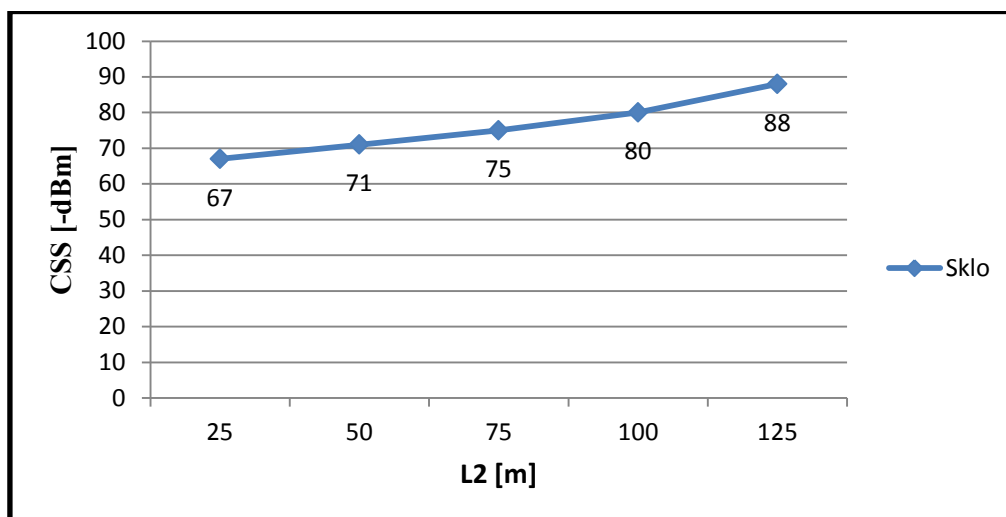


Graf. 1: Překážka dřevo

Výsledky měření šíření signálu pro typ překážky sklo a  $L1 = 0.5$  m jsou shrnuty v tabulce 10.

Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Sklo	1	0.5	25	67
	2	0.5	50	71
	3	0.5	75	75
	4	0.5	100	80
	5	0.5	125	88

Tab. 10: Naměřené hodnoty, typ překážky sklo

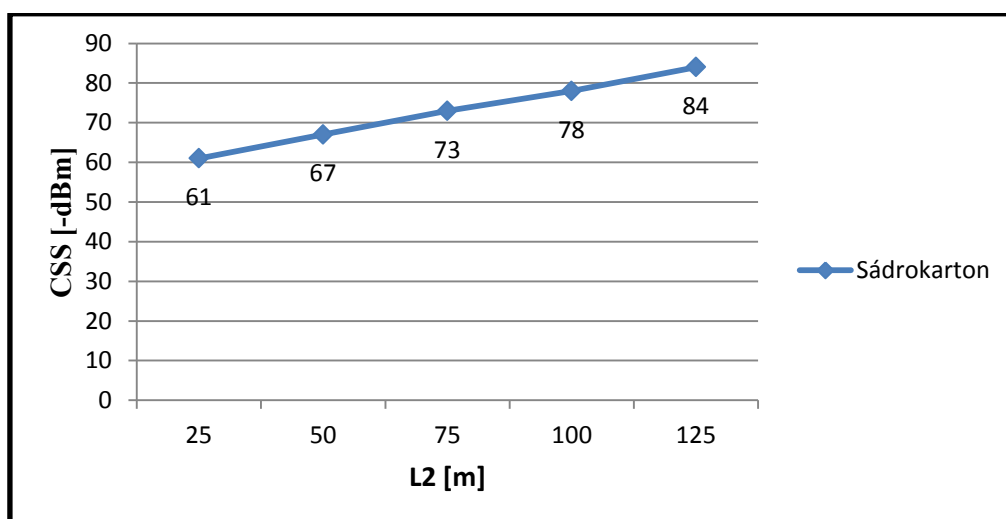


Graf. 2: Překážka sklo

Výsledky měření šíření signálu pro typ překážky sádrokarton a  $L1 = 0.5\text{m}$  jsou shrnuty v tabulce 11.

Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Sádrokarton	1	0.5	25	61
	2	0.5	50	67
	3	0.5	75	73
	4	0.5	100	78
	5	0.5	125	84

Tab. 11: Naměřené hodnoty, typ překážky sádrokarton

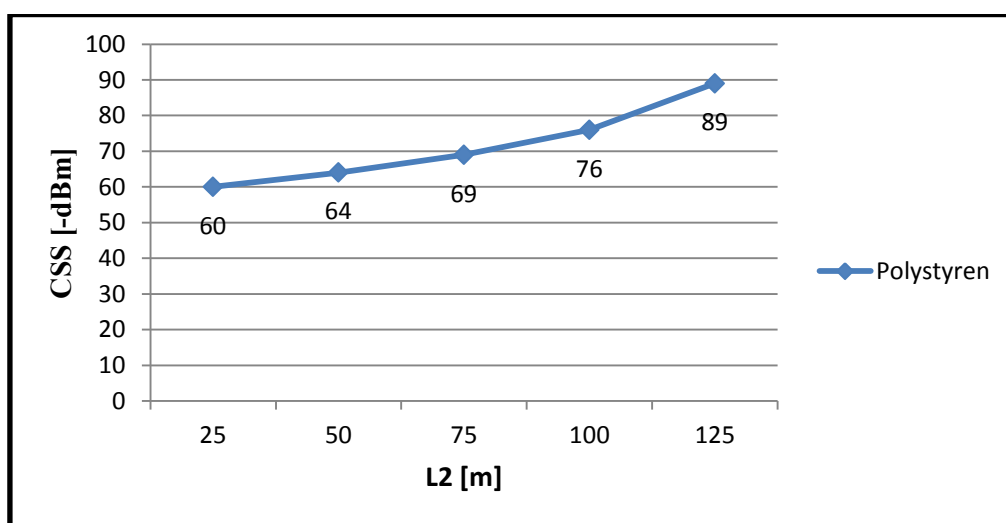


Graf. 3: Překážka sádrokarton

Výsledky měření šíření signálu pro typ překážky polystyren a  $L1 = 0.5\text{m}$  jsou shrnuty v tabulce 12.

Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Polystyren	1	0.5	25	60
	2	0.5	50	64
	3	0.5	75	69
	4	0.5	100	76
	5	0.5	125	89

Tab. 12: Naměřené hodnoty, typ překážky polystyren



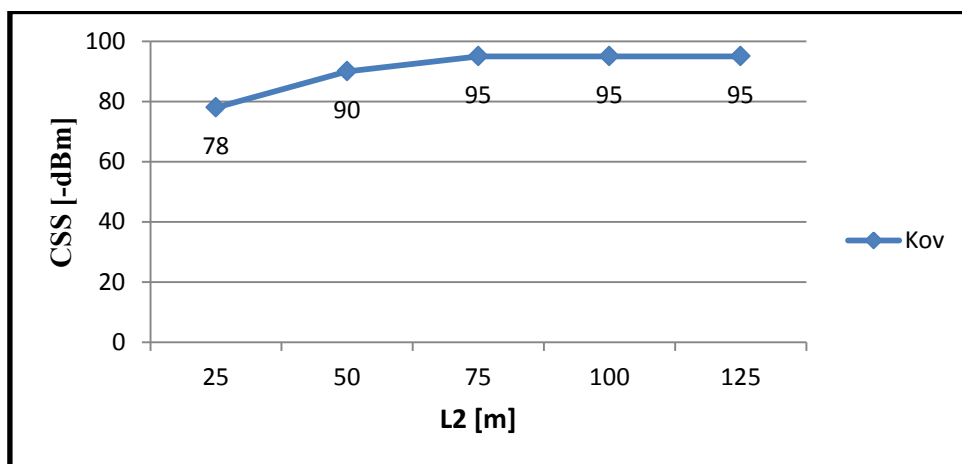
Graf. 4: Překážka polystyren

Výsledky měření šíření signálu pro typ překážky kov a  $L1 = 0.5\text{m}$  jsou shrnuty v tabulce 13.

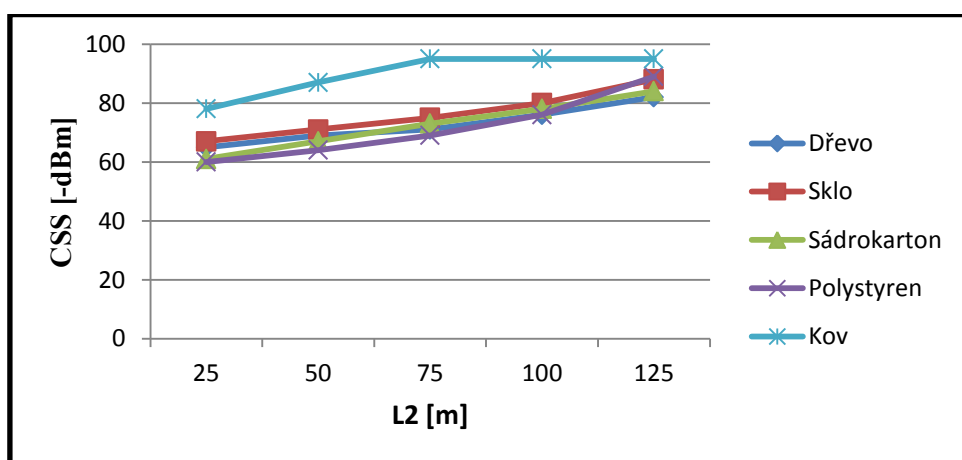
Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Kov	1	0.5	25	78
	2	0.5	50	90
	3	0.5	75	95
	4	0.5	100	95
	5	0.5	125	95

Tab. 13: Naměřené hodnoty, typ překážky kov



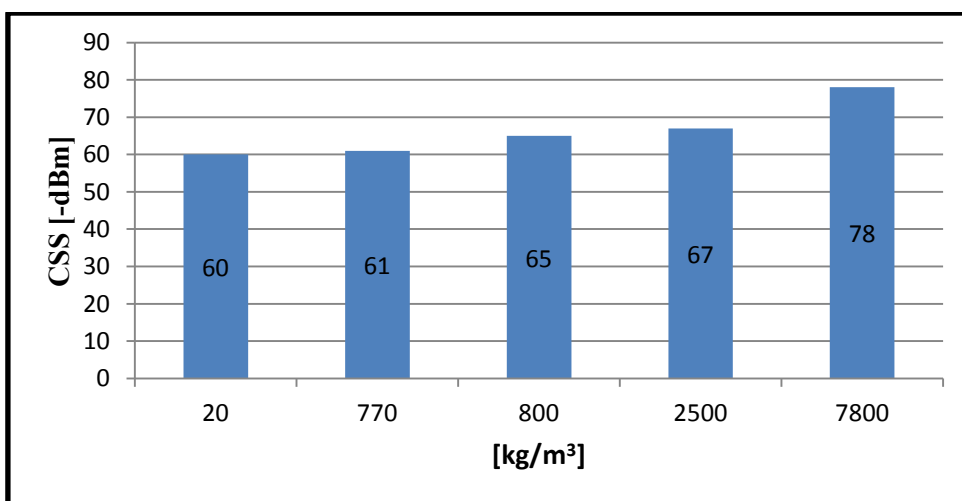


Graf. 5: Překážka kov



Graf. 6: Všechny překážky

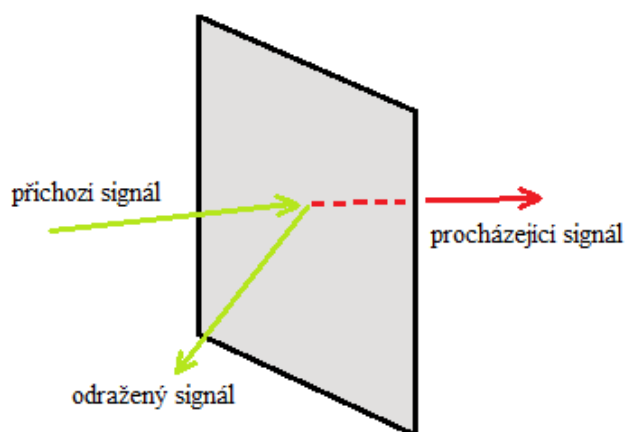
Na grafu 7 vidíme srovnání všech překážek podle jejich hustoty ( $\text{kg/m}^3$ ), kde  $L1 = 0.5\text{m}$  a  $L2 = 25\text{m}$ . čím větší hustota tím větší úroveň pohlcení rádiového signálu překážkou.



Graf. 7: Všechny překážky

Během měření dochází ke ztrátám signálu v důsledku vícecestných přenosů a zeslabení. Vzhledem k tomu, že signály jsou vyzařovány ve všech směrech od zdroje, jsou signály vystaveny ztrátám vznikajícím v důsledku vícecestného přenosu. Zeslabovací efekty nastávají v souvislosti s překážkami, jež signálu stojí v cestě. K zeslabení nedochází v nějakém předvídatelném poměru: někdy se signál zeslabí rychle při průchodu přes krátkou vzdálenost a jindy probíhá jeho zeslabení pomalu. Projevuje tyto fyzikální režimy, jež mohou být zaznamenány u vnitřního signálu: odraz, ohyb a pohlcení.

Stupeň odrazu signálu říká, zda se signál odrazí od povrchu překážky, se kterým se dostane do kontaktu, nebo zda bude tímto povrchem pohlcen. U většiny povrchů dochází k oběma těmto jevům, přičemž je určité části signálu umožněno pokračovat v cestě, zatímco pohlcená část se ztratí. Kovová překážka odráží signály. Překážka která má větší hustotu pohltí větší část signálu než překážky s menší hustotou. Obrázek 9 ukazuje, že určitá část rádiového signálu se odrazí, jakmile dosáhne překážky, zatímco zbývající část signálu prochází překážku.



Obr. 9: Odraz signálu

Když signál narazí na překážku dojde k jeho ohybu, aby se dostal kolem překážky, a to vytvoří signál za překážkou nebo vedle překážky. K ohybu dochází, vždy když signál narazí na překážku, příčinou je malá velikost překážky. Ohyb signálu je znázorněn na obrázku 10.



Obr. 10: Ohyb překážky

Bylo provedeno orientační měření šíření signálu v pásmu 5 GHz. Z těchto výsledků lze spočítat pohlcení signálu způsobeného různými překážkami pomocí výpočtu z následujícího vzorce:

$$Z = A1 - A2 \quad (7)$$

kde  $Z$  – je ztráta,

$A1$  – CSS(-dBm), podmínky: překážka = 1 ks,  $L1 = 0.5$  m,  $L2 = 25$  m

$A2$  – CSS (-dBm) = -57 dBm, podmínky:  $L2 = 25$  m, bez překážky

V tab. 14 jsou uvedeny určité odhady zeslabení signálu v pásmu 5 GHz způsobeného různými překážkami, které jsou určený pro plánování pokrytí bezdrátových systémů, což je dalším krokem.

Typ překážky	Ztráta v dB
Dřevo	8
Sklo	10
Sádrokarton	4
Polystyren	3
Kov	21

Tab. 14: Ztráta signálu v pásmu 5 GHz

## 6.4 Simulace šíření signálu v programu I-Prop

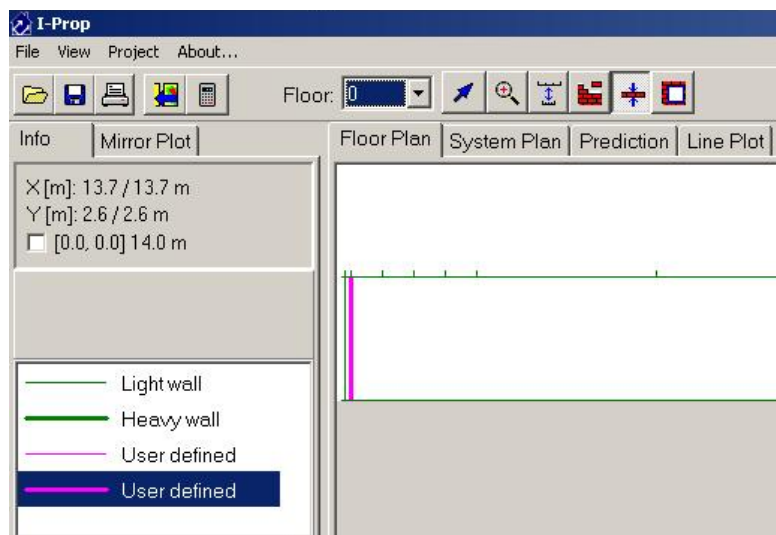
I-Prop aktuální verze: 1.39 je softwarový nástroj pro interaktivní plánování 3D pikobuňkových bezdrátových systémů uvnitř vícepodlažních objektů. Jeho součástí jsou modely šíření elektromagnetické vlny (signálu) uvnitř budov, které umožňují provádět různé typy analýz pokrytí. Program byl vytvářen pro účely snadného a efektivního základního návrhu pikobuňkového systému jak pro uživatele znalého problematiky „indoor“ šíření, tak i uživatele s touto problematikou podrobněji neseznámeného. [21]

Pro přehlednou a efektivní práci je ovládání programu rozděleno do pěti pracovních režimů, v jejichž rámci lze volit mezi jednotlivými pracovními módy dle požadované činnosti. Spolu s režimem se mění i ovládací prvky (menu, toolbar) a informačních obsah pracovních oken programu.

Po spuštění programu začneme nastavením plánu budovy pomocí kombinace kláves Ctrl+B, pak přidáme nové podlaží. Pomocí tlačítka DXF Import lze naimportovat soubor formátů .dxf (Drawing eXchange Format), který má v sobě plán budovy, a taky nastavit číslo podlaží (Floor Number) na hodnotu 0 a výšku stropů (Floor Height) na hodnotu 5m. Soubor .dxf lze nakreslit pomocí programu AutoCAD.

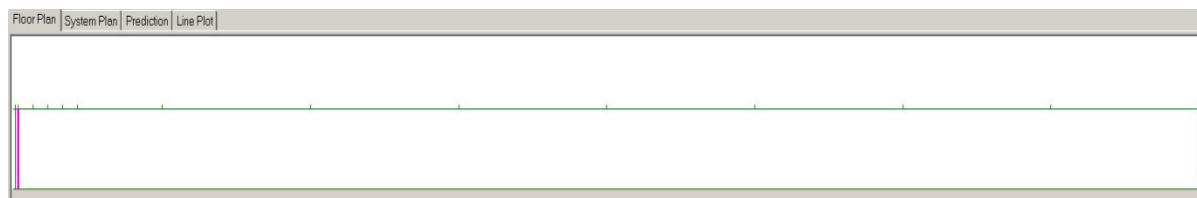
### 6.4.1 První režim – Floor Plan

Tento pracovní režim je určen k zobrazení a editaci plánu podlaží (obr. 11). V hlavním okně je vykreslen plán podlaží. Pro vykreslení stěn je použita barva a tloušťka čáry podle typu (viz legenda v okně Info). Prvním krokem v plánování bude vytvoření překážky pomocí myši a tlačítka (New Wall) – je tlustá růžová čára.



Obr. 11: Floor Plan

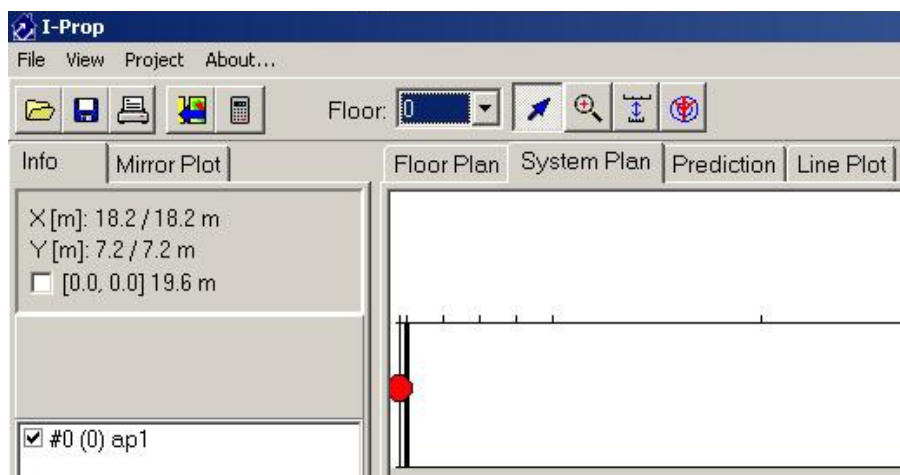
V hlavním okně je vykreslen plán podlaží (obr. 12), kde délka = 200m, šířka = 10m, výška = 5m. Pomocí tlačítka Rescale a myši natáhneme kalibrační úsečku na délku budovy a zadáme hodnotu 200, aby plán odpovídal skutečnosti.



Obr. 12: Floor Plan celkem

### 6.4.2 Druhý režim – System Plan

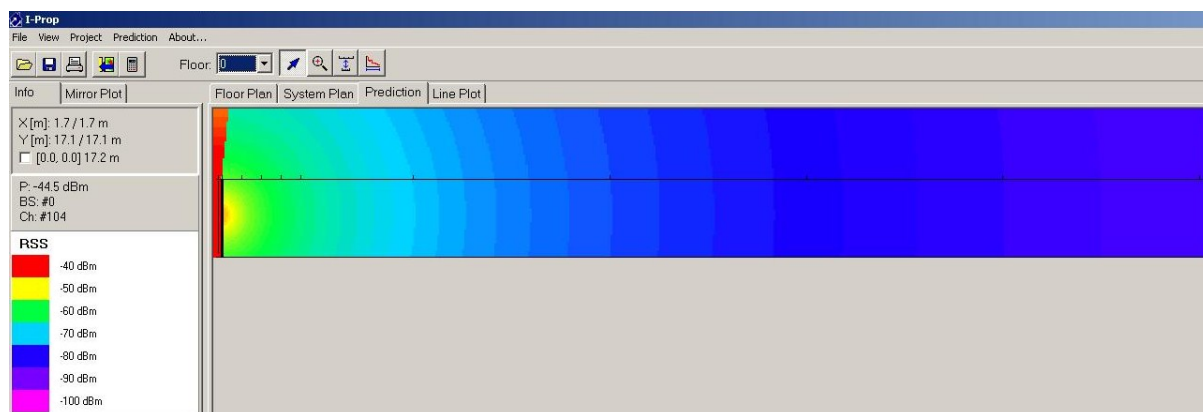
Tento pracovní režim je určen k zobrazení a editaci základnových stanic implementovaného systému pikobuněk (obr. 13). Vysílač je zobrazen jako plný červený kruh z vlastnostmi horizontálně izotropické antény. Druhým krokem bude nastavení parametrů stěn pomocí kombinace kláves Ctrl+M, zvolíme záložku Multi-Wall tabulka Ztráta stěn a použijeme hodnoty z tab. 13.



Obr. 13: System Plan

### 6.4.3 Třetí režim – Prediction

V tomto režimu jsou zobrazeny vlastní analýzy pokrytí. Tlačítkem Calculate provedeme výpočet, pak v hlavním okně (obr. 14) na pozadí plánu podlaží se zobrazí zvolená analýza vykreslená v barevné stupnici, kde tlustá růžová čára (typu User defined obr. 9) = -21 dBm ztráta a tenká zelená čára (typu Light Wall obr. 9) = 0 dBm ztráta.



Obr. 14: Prediction

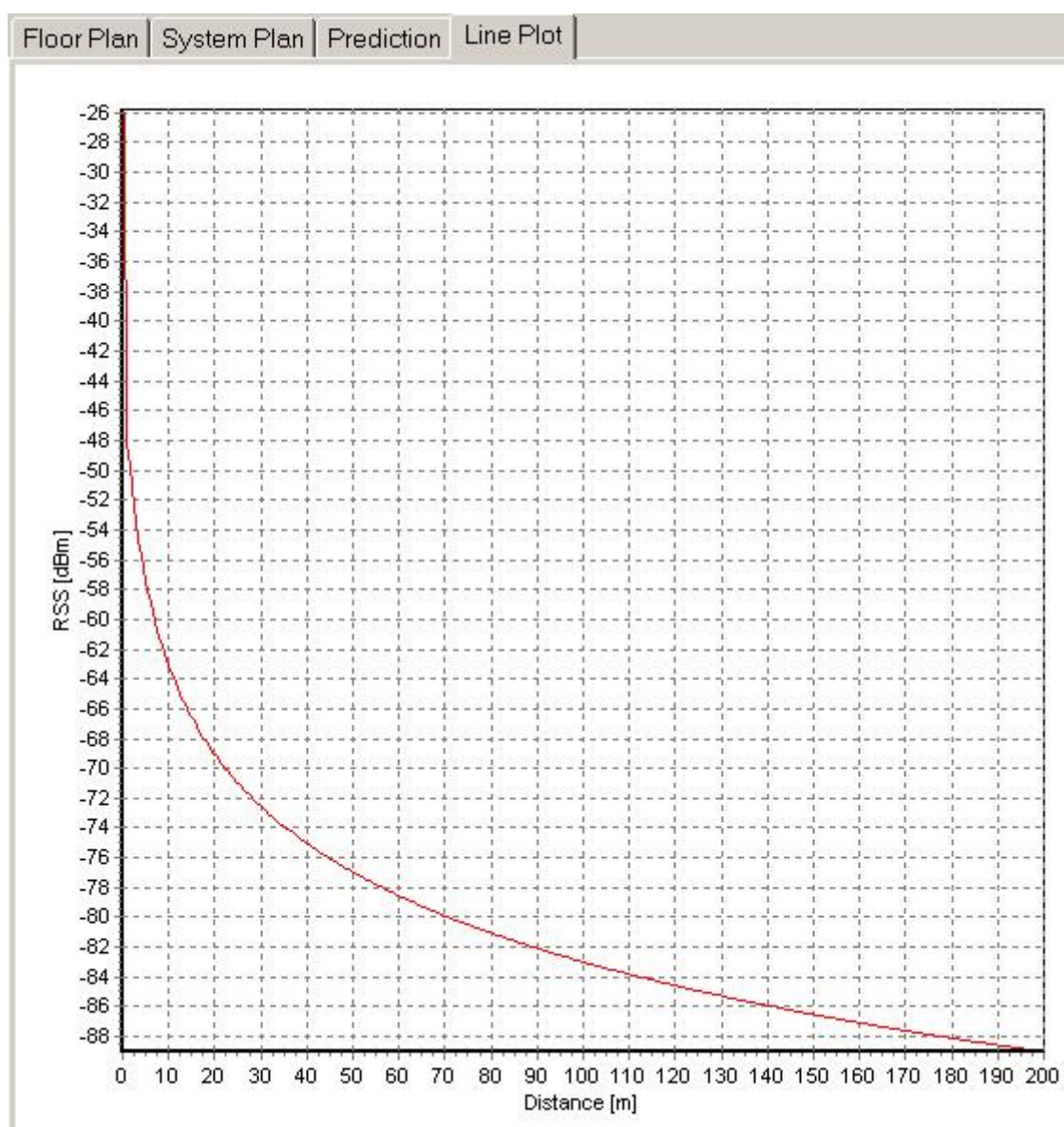
### 6.4.4 Čtvrtý režim – Line Plot

Tento režim je určen pro vykreslení a porovnání analýz podél lomených cest. Měření úrovně CSS se dělá v režimu Prediction pomocí ikony Measurement, po kliknutí táhneme úsečku v odpovídajícím směru měření signálu. Výstupem je graf popisující výkonovou úroveň (obr. 15).

V tab. 14 jsou uvedeny výstupní hodnoty simulace, kde je typ překážky kov = -21dBm ztráta, a vzdálenost překážky od vysílače = 0.5m

Typ překážky	№	L1 vzdálenost (m)	L2 vzdálenost (m)	Current Signal Strength (dBm)
Kov	1	0.5	25	71
	2	0.5	50	77
	3	0.5	75	81
	4	0.5	100	83
	5	0.5	125	85

Tab. 15: Výstupní hodnoty simulace



Obr. 15: Line Plot

## 6.5 Vyhodnocení měření

Jedním z důvodů proč jsem zvolil této téma, bylo dozvědět se více o 5 GHz pásmu. Prvním krokem bylo porozumět problémům, který přináší 2.4 GHz pásmo. Dalším krokem je zjistit jaké výhody přináší 5 GHz pásmo.

Pásmo 2,4 GHz, které je nejčastěji využito spolu s normou 802.11 b/g, je ale velmi často značně rušeno nejen díky intenzivnímu využívání Wi-Fi vůbec, ale také technologií Bluetooth, různými bezdrátovými zařízeními jako jsou klávesnice, myši a podobně. Jedním z možných řešení jak dosáhnout vysokých přenosových rychlostí je využití technologie 802.11a pracující ve frekvenčním pásmu 5 GHz.

Výhody 5 GHz pásma:

- Snadná dostupnost 11 nepřekrývajících kanálů oproti zarušenému 2.4 GHz pásmu 4 kanály.
- Jednoduché rozšíření.
- Žádné omezení přenesených dat.
- Rychlé odezvy pro poslušání rádií.
- Velká přenosová rychlost.

Nevýhody:

- Dražší zařízení.



Obr. 16: Standard 802.11a/b

Produkty pro toto pásmo jsou a budou výrazně dražší než produkty pro nižší pásmo – hlavním důvodem jsou právě nižší série. Proto většina sítí i nadále zůstane na pásmu 2,4 GHz, které je sice zarušené, zato 5-10 levnější. 5,4 GHz tak zůstane doménou firemních řešení a propojovacích spojů mezi body poskytovatele a bude vždy volnější než pásmo 2,4 GHz. Díky tomu ale lze levněji budovat složitější síťové struktury na větší vzdálenosti a s vyšší kvalitou, které tak mohou dále zlevnit a zkvalitnit i běžné Wi-Fi sítě pro koncové zákazníky v pásmu 2,4 GHz.

Během měření došlo k problémům s překážkami a anténami:

- Problémy s překážkami – přesvědčivé testy by bylo nutné provádět v laboratorních podmínkách při naprostém odstínění od okolí. Překážky se musí zvětšit nebo použít troubu a omezit šíření signálu aby nedošlo k ohybu překážky.
- Problémy s anténami – většina výrobců uvádí dosah okolo 300 m ve volném prostoru a 150 m v zastavěném prostoru, oproti mému měření max. dosah 200 m ve volném prostoru. Ovšem toto jsou teoretické hodnoty a vlivem prostředí (rušení, počasí) se tyto vzdálenosti mohou snižovat. Je-li vzdálenost větší nebo dochází-li ke ztrátě signálu, je nutné použít externí anténu. Problém ovšem je, že 5GHz technika nemá v manuálech žádné schválené antény které doporučeny.

## 7 Analýza sítě pomocí iperf

Pro podporu měření byl naimplementován skript v jazyce Python (skriptovací a programovací jazyk), který má v sobě parametry pro testování rychlosti, propustnosti, latence (zpoždění) a ztrátovosti paketů pomocí utility iperf.

### 7.1 Iperf

Iperf je to program pro měření rychlosti, který může běžet buď v serverovém, nebo klientském režimu pod Linuxem a Windows. Instalace ve Windows – stažený archív rozbalíme a soubor *iperf.exe* umístíme do složky *C:/Windows/System32/*, tohle umožní spouštět z příkazového řádku bez zadávání cesty k souboru. Instalace v Linuxu – pomocí příkazového řádku *apt-get install iperf*.

Datový tok iperf směřuje od klienta do serveru (obr. 17), tj. po navázání spojení klient začne maximální možnou nebo nastavenou rychlostí posílat data na server, a na konci zobrazí informace o přenosu. Pro ukázkou vytvoříme domácí Wi-Fi síť mezi dvěma notebooky, kde iperf server má ip adresu 192.168.1.1 a iperf klient 192.168.1.2.



Obr. 17: Datový tok iperf

Význam jednotlivých parametrů, které byly použity:

- **-c <host>** - stanice nastavena do klientského režimu, jako parametr <host> udáváme IP adresu serveru
- **-u** - nastavení komunikace v režimu vysílání UDP paketů
- **-p #** - volba čísla portu serveru očekávajícího připojení na tomto portu, defoltní hodnota 5001
- **-l #[KM]** - volíme celkovou velikost paketu včetně všech záhlaví
- **-b #[KM]** - definuje použitou přenosovou rychlost (možnost používat násobky k,M,...)
- **-d** - přepínačem zajistíme současnou obousměrnou komunikaci
- **-i #** - intervaly výpisu hodnot přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a ztrátovosti paketů v daný časový okamžik
- **-t #** - doba simulace v sekundách, defoltní hodnota 10 sec.
- **-s** - stanice nastavena do režimu server
- **-M #** - velikost TCP segmentu



- -D - spustit server jako daemon
- -m - tisk TCP maximální velikosti segmentu (MTU - TCP / IP záhlaví)
- -r - obousměrný test zvlášť
- -n #[KM] - kolik dat se má odeslat
- -f [KM] - formát zprávy: Kbits, Mbits, KBytes, Mbytes
- -P # - simulace více klientů
- -w #[KM] - TCP velikost okna (socket velikost vyrovnávací paměti)

### 7.1.1 TCP měření

TCP je spojově orientovaný protokol což znamená, že k navázání "end-to-end" komunikace potřebuje, aby proběhl mezi klientem a serverem tzv. "handshaking". Poté, co bylo spojení navázáno, data mohou být posílána oběma směry. Charakteristické vlastnosti TCP protokolu jsou:

- spolehlivost – TCP používá potvrzování o přijetí, opětovné posílání a překročení časového limitu. Pokud se jakákoliv data ztratí po cestě, server si je opětovně vyžádá. U TCP nejsou žádná ztracená data, jen pokud několikrát po sobě vyprší časový limit, tak je celé spojení ukončeno.
- zachování pořadí – Pokud pakety dorazí ve špatném pořadí, TCP vrstva příjemce se postará o to, aby se některá data pozdržela a finálně je předala správně seřazená.
- vyšší režie – TCP protokol potřebuje např. tři pakety pro otevření spojení, umožňuje to však zaručit spolehlivost celého spojení. [22]

Provedeme ukázkové měření rychlosti a propustnosti TCP protokolu:

#### Server (přijímač):

```
iperf.exe -s -i 1 -p 5001 -f m
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 0.01 MByte (default)
-----
```

```
[224] local 192.168.1.1 port 5001 connected with 192.168.1.2 port 57222
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[224] 0.0- 1.0 sec  1.87 MBytes 15.6 Mbits/sec
[224] 1.0- 2.0 sec  1.84 MBytes 15.5 Mbits/sec
[224] 2.0- 3.0 sec  1.95 MBytes 16.4 Mbits/sec
[224] 3.0- 4.0 sec  1.73 MBytes 14.5 Mbits/sec
[224] 4.0- 5.0 sec  1.65 MBytes 13.9 Mbits/sec
[224] 0.0- 5.1 sec  9.25 MBytes 15.2 Mbits/sec
```

**Klient (odesílatel):**

```
iperf -c 192.168.1.1 -t 5 -i 1 -f m -p 5001
```

```
-----  
Client connecting to 192.168.1.1, TCP port 5001  
TCP window size: 0.02 MByte (default)  
-----
```

```
[ 3] local 192.168.1.2 port 57222 connected with 192.168.1.1 port 5001  
[ ID] Interval   Transfer       Bandwidth  
[ 3] 0.0- 1.0 sec 2.00 MBytes   16.8 Mb/s  
[ 3] 1.0- 2.0 sec 1.75 MBytes   14.7 Mb/s  
[ 3] 2.0- 3.0 sec 2.00 MBytes   16.8 Mb/s  
[ 3] 3.0- 4.0 sec 1.75 MBytes   14.7 Mb/s  
[ 3] 4.0- 5.0 sec 1.62 MBytes   13.6 Mb/s  
[ 3] 0.0- 5.1 sec 9.25 MBytes   15.3 Mb/s
```

Poslední řádek výpisu ve sloupci „*bandwidth*“ ukazuje naměřenou hodnotu – 15.3 Mb/s.

### 7.1.2 UDP měření

UDP je jednodušší protokol založený na odesílání nezávislých zpráv. Charakteristika protokolu:

- bez záruky – Protokol neumožňuje ověřit, jestli data došla zamýšlenému příjemci. Datagram se může po cestě ztratit. UDP nemá žádné potvrzování, přeposílání ani časové limity. V případě potřeby musí uvedené problémy řešit vyšší vrstva.
- nezachovává pořadí – Při odeslání dvou zpráv jednomu příjemci nelze předvídat, v jakém pořadí budou doručeny.
- jednoduchost – Nižší režie než u TCP (není zde řazení, žádné sledování spojení atd.). [22]

Předvádím část kódu, který testuje ztrátovost při posílání UDP protokolu:

```
import os  
  
param_b = ['10M', '20M', '30M', '50M', '70M']  
ip = raw_input("Zadejte ip adresu servera: ")  
zapis = ' >> testiperf.txt'  
  
for i in param_b:  
    os.system('echo "Měření ztrátovosti při '+i+'bits \n" ')  
    os.system('iperf -u -c '+ip+' -b '+i+' -t 5 -i 1'+zapis)
```

Výpis 1: Kód měření ztrátovosti

Cykl for prochází pole *param\_b* načítá a používá každou hodnotu v dalších příkazech:

- první příkaz vypisuje do příkazového řádku název a parametr měření
- druhý příkaz spouští program iperf z parametry a zapisuje výsledek do souborů

Provedeme ukázkové měření ztrátovosti UDP protokolu při 30Mbps/sec:

**Klient (odesílatel):**

```
bin/iperf.exe -c 192.168.1.2 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f m -b 30.0M -t 5 -T 1
```

```
-----  
Client connecting to 192.168.1.2, UDP port 5001, Sending 1470 byte datagrams  
UDP buffer size: 0.01 MByte (default)  
-----
```

```
[128] local 192.168.1.1 port 61906 connected with 192.168.1.2 port 5001  
[ ID] Interval    Transfer    Bandwidth  
[128] 0.0- 1.0 sec 1.97 MBytes 16.5 Mbits/sec  
[128] 1.0- 2.0 sec 1.95 MBytes 16.3 Mbits/sec  
[128] 2.0- 3.0 sec 2.02 MBytes 16.9 Mbits/sec  
[128] 3.0- 4.0 sec 2.01 MBytes 16.8 Mbits/sec  
[128] 4.0- 5.0 sec 1.93 MBytes 16.2 Mbits/sec  
[128] 0.0- 5.0 sec 9.87 MBytes 16.6 Mbits/sec  
[128] Server Report:  
[128] 0.0- 5.0 sec 9.87 MBytes 16.6 Mbits/sec 0.508 ms 0/ 7040 (0%)  
[128] Sent 7040 datagrams
```

**Server (přijímač):**

```
iperf -u -s -p 5001 -i 1 -f m
```

```
-----  
Server listening on UDP port 5001, Receiving 1470 byte datagrams  
UDP buffer size: 0.16 MByte (default)  
-----
```

```
[ 3] local 192.168.1.2 port 5001 connected with 192.168.1.1 port 61906  
[ ID] Interval    Transfer      Bandwidth    Jitter  Lost/Total Datagrams  
[ 3] 0.0- 1.0 sec 1.97 MBytes 16.5 Mbits/sec 0.525 ms    0/ 1403 (0%)  
[ 3] 1.0- 2.0 sec 1.95 MBytes 16.3 Mbits/sec 0.637 ms    0/ 1388 (0%)  
[ 3] 2.0- 3.0 sec 2.02 MBytes 16.9 Mbits/sec 0.521 ms    0/ 1440 (0%)  
[ 3] 3.0- 4.0 sec 2.01 MBytes 16.9 Mbits/sec 0.487 ms    0/ 1433 (0%)  
[ 3] 0.0- 5.0 sec 9.87 MBytes 16.6 Mbits/sec 0.509 ms    0/ 7040 (0%)
```

Poslední řádek výpisu ve sloupci „*bandwidth*“ ukazuje naměřenou hodnotu – 16.6 Mbits/sec, ve sloupci „*jitter*“ ukazuje zpoždění 0.509 ms, ve sloupci „*lost/total datagrams*“ vidíme procentní údaj, pokud je hodnota menší než 1%, znamená to, že ztrátovost je minimální, ale pokud je hodnota větší, je problém v síti.

Jak bylo uvedeno výše analýza sítě začíná analýzou paketů, které se pohybují na síti. Chyby v samotných paketech nebo příliš velký objem určitého druhu přenosů mohou naznačovat, že daná síť nepracuje řádným způsobem. Analýza paketů taky může být použita rovněž pro zkoumání potenciálních útoků na síť nebo podezřelých přístupů na síť.

Wi-Fi pakety jako pakety ethernetu je možno rozdělit do tří typů: datové pakety, kontrolní pakety a pakety managementu sítě. Struktura u Wi-Fi paketů se liší od struktury ethernet paketů. Wi-Fi pakety obsahují dlouhá PLCP a MAC záhlaví, aby umožňovaly informace týkající se mobility a RF.

Analýza uvedených tří druhů síťových paketů a jejich záhlaví poskytuje rozsáhlé informace, které je možné využít pro diagnostiku problémů. Řídící pakety například poskytují užitečný náhled do rozvržení bezdrátových přenosů a kvality transakcí. RTS, CTS a ACK (odeslání, příjem a potvrzení) jsou všechny typy řídicích paketů přenášených jako součást každé datové transakce. Chyby v těchto paketech by mohly naznačovat určitý problém v komunikaci mezi Wi-Fi rádiovými zařízeními. Pakety managementu sítě zprostředkovávají vztahy mezi zařízeními na síti včetně přidružení s přístupovými body, autentizace a synchronizace. Analýza těchto paketů by mohla napomoci při odhalování problémů ve velké ESS, kde mají zařízení problémy při komunikaci s přístupovými body nebo s jinými stanicemi.[9]

Shromáždění informací o Wi-Fi síti možná provádět několika způsoby a s mnoha úrovněmi detailů v závislosti na vašich potřebách. Možná používat programy, které se dodávají s většinou Wi-Fi síťových adaptérů pro rychlé zjištění parametrů karty – jejího připojení k síti, síly signálu, a tak dále. Vzhledem k jedinečnosti typů paketů, které se používají na Wi-Fi sítích, nejsou programy pro analýzu ethernetu příliš efektivní. Tyto programy musejí být rovněž schopny číst a interpretovat strukturu bezdrátových paketů. K dispozici je několik volně dostupných analyzátorů: Sniffer Wireless od Network Associates a Ethereal, ale žádný z těchto programů nedokáže otestovat bezdrátovou síť jako tento skript.

## 8 Závěr

Hlavní náplní bakalářské práce bylo prakticky vyzkoušet šíření rádiového signálu v pásmu 5GHz v závislosti na různých typech překážek. Měření v reálných prostředích je obtížné protože zdroje a úrovně ztrát signálu se liší v důsledku nepředvídatelného obsahu většiny prostředí. Proto bylo zvoleno místo, kde nejsou k dispozici žádné překážky a 5 GHz pásma, aby nedošlo k rušení měření, a bylo provedeno velké množství reálných testů šíření rádiového signálu přes různé typy překážek. Výsledky ukázaly, jak se projevují takové jevy jako je odraz, ohyb a pohlcení. Pohlcená část rádiového signálu se ztratí po kontaktu s povrchem překážky a překážka, která má větší hustotu pohltí větší část signálu než překážky s menší hustotou. Byla spočítána úroveň pohlcení každé překážky, které byly uvedené v tab. 13 pro plánování pokrytí bezdrátových systémů. Tyto výsledky potvrzují, že čím je větší hustota, tím je větší úroveň pohlcení rádiového signálu překážkou.

U bezdrátových sítí nezáleží jen na šířce pásma (rychlosti a propustnosti). Důležité jsou i další parametry, které mají vliv na správné fungování, jako je latence (zpoždění) a ztrátovost paketů. V závěrečné kapitole byl předveden skript, který byl naimplementován pro zjednodušení testování bezdrátové sítě, zpoždění a ztrátovosti paketů pomocí utility iperf. První část skriptu se zabývá testováním TCP protokolu, druhá část testováním UDP protokolu a analýzou ztrátovosti paketů.

## 9 Seznam použité literatury

- [1] A. S. Presman, Santimetrovyje volny, 1954
- [2] [online] <http://www.radioscanner.ru/info/article60/>
- [3] [online] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Radiov%C3%A9\\_frekvence](http://cs.wikipedia.org/wiki/Radiov%C3%A9_frekvence)
- [4] [online] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Centimetrov%C3%A9\\_vlny\\_a\\_krat%C5%A1%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Centimetrov%C3%A9_vlny_a_krat%C5%A1%C3%AD)
- [5] [online] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [6] [online] <http://wiki.cs.vsb.cz/images/4/4b/Lic060-gis-radar.pdf>
- [7] [online] <http://www.wimax.cz/>
- [8] [online] <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [9] Shelly Brisbin, Wi-Fi, 2003, ISBN 80-86330-13-3
- [10] Thomas Kohre, Stavíme si bezdrátovou síť Wi-Fi, 2004, ISBN 80-251-0391-9
- [11] Bob Ohara and Al Petrick, IEEE 802.11 Handbook, 2005, ISBN 0-7381-4449-5
- [12] [online] [http://pctuning.tyden.cz/software/jak-zkrotit-internet/9619-wifi\\_na\\_24\\_i\\_5ghz-minitar\\_wap354](http://pctuning.tyden.cz/software/jak-zkrotit-internet/9619-wifi_na_24_i_5ghz-minitar_wap354)
- [13] [online] [http://erasme.org/IMG/experience\\_attenuation.pdf](http://erasme.org/IMG/experience_attenuation.pdf)
- [14] Radim Jiroušek, Jiří Ivánek, Petr Máša, Jan Toušek, Principy digitální komunikace, 2006
- [15] Jerry C. Whitaker, Radio frequency transmission systems, 1990, ISBN 0-07-069620-9
- [16] Frank Ohrtman, Konrad Roeder, Wi-Fi handbook, 2003, ISBN 0-07-141251-4
- [17] Janice Reynolds, Going Wi-Fi, 2003, ISBN 1-57820-301-5
- [18] B. F. Weller, Radio technology, 1951
- [19] Wieser V., Doboš L., Dúha J., Marchevský S., Mobilné rádiové siete, EDIS ŽU, Žilina 2002, ISBN 80-7100-936-9
- [20] Wieser V., Pšenák V., Riadenie výkonu v mobilných rádiových sieťach, EDIS ŽU, Žilina 2010, ISBN 978-80-554-0206-2
- [21] [online] <http://i-prop.cz/main.php>
- [22] [online] [http://cs.wikipedia.org/wiki/User\\_Datagram\\_Protocol](http://cs.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol)

## **Příloha**

### **A      CD**

CD obsahuje adresáře:

Script   - skript pro analýzu sítě

Text     - text bakalářské práce